



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**OVĚŘENÍ LOGISTICKÉHO KONCEPTU ŘÍZENÍ
ZÁSOB**

VERIFICATION OF THE LOGISTIC CONCEPT OF INVENTORY MANAGEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Mikuš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Sedláček

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Marek Mikuš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Martin Sedláček**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Ověření logistického konceptu řízení zásob

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedení rešeršního rozboru logistických konceptů řízení zásob v rámci vnitropodnikové přepravy materiálu a způsoby optimalizace těchto konceptů. Vytvoření simulačního modelu pro zhodnocení rozdílů jednotlivých konceptů řízení zásob.

Cíle bakalářské práce:

Provedení rešeršního rozboru logistických konceptů řízení zásob.
Zhodnocení optimalizačních procedur pro jednotlivé logistické koncepty řízení zásob.
Vytvoření simulačního modelu, jeho verifikace a validace.
Zhodnocení rozdílů jednotlivých konceptů řízení zásob.

Seznam doporučené literatury:

PERNICA, P.: Logistika pro 21. století: (supply chain management). Vyd. 1. Praha: Radix, 2005, s. 571-1095. ISBN 80-860-3159-4.

Sigrid WENZEL, Markus RABE a Sven PIECKERMANN. Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2008, ISBN 978-3-540-35281-5.

ŠTOČEK, Jiří. Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 0-214-2885-6. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky, 2004. 114 s. Vedoucí práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.

HLOSKA, Jiří. Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami:
Optimization of material flow in mass production by means of simulation methods : zkrácená verze
Ph.D. Thesis. V Brně: [Vysoké učení technické], 2015. ISBN 978-80-214-5305-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je rešeršní rozbor vybraných logistických konceptů řízení zásob a vytvoření simulačního modelu logistického okruhu v rámci vnitropodnikové přepravy. Součástí rešeršní části je vysvětlení základních logistických pojmů, zhodnocení jednotlivých konceptů řízení zásob a uvedení způsobu jejich optimalizace. Simulační model je vytvořen v softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens. Pomocí simulace různých variant nastavení parametrů modelu byly navrženy podmínky pro řízení ověřovaného logistického okruhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, logistický řetězec, koncepty řízení zásob, optimalizace, simulace

ABSTRACT

The content of this bachelor thesis is a search analysis of selected logistics concepts of inventory management and the creation of a simulation model of the logistic circuit within the intra-company transport. Part of the research section is an explanation of basic logistic concepts, an evaluation of individual inventory management concepts and a description of how to optimize them. The simulation model is created in Siemens Plant Simulation software. By simulating different variants of model parameter settings, the conditions for controlling the verified logistic circuit were designed.

KEYWORDS

Logistics, logistics chain, inventory management concepts optimization, simulation



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKUŠ, M. *Ověření logistického konceptu řízení zásob*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Sedláček.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Sedláčka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Marek Mikuš



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Sedláčkovi za odbornou pomoc, cenné rady, náměty a připomínky při tvorbě bakalářské práce.

Poděkování rovněž patří mým rodičům a přítelkyni, kteří mě při studiu trpělivě podporovali.

OBSAH

Úvod	9
1 Teoretická část – logistika	10
1.1 Informační a materiálový tok	11
1.1.1 Materiálový tok	11
1.1.2 Informační tok	12
1.2 Logistický řetězec	13
1.3 Řízení zásob	14
1.4 Logistické koncepty řízení zásob	17
1.4.1 Kanban	17
1.4.2 Just in time (JIT)	20
1.4.3 Quick response	22
1.5 Optimalizace	23
1.5.1 Simulace	25
1.6 Převážní a manipulační prostředky	28
2 Praktická část	32
2.1 Simulační model	32
2.1.1 Pojmový model	33
2.1.2 Parametrizace modelu	34
2.1.3 Výchozí stav modelu	36
2.1.4 Verifikace a validace modelu	38
2.2 Optimalizace simulačního modelu	42
2.2.1 Vyhodnocení optimalizačních experimentů	44
2.3 Shrnutí výsledků simulace	48
Závěr	49
Použité informační zdroje	50
Seznam použitých zkratk a symbolů	53
Seznam příloh	54
Přílohy	I

ÚVOD

S rostoucí ekonomikou a rozvojem průmyslu úzce souvisí i téma logistiky. Mezi strategickými faktory ovlivňujícími konkurenceschopnost podniku hraje logistika klíčovou roli. Toto odvětví dokáže řídit a kontrolovat toky zboží, informací a ostatních zdrojů až k zákazníkovi.

Logistika dnes proniká téměř do všech oblastí podnikového řízení, a to zejména do oblastí plánování, nákupu, skladování, řízení výroby a zakázek. Nezřídka proto existují celá firemní oddělení, která se zabývají jednotlivými logistickými oblastmi. Díky kvalitně zpracovaným a zavedeným logistickým konceptům může být zefektivněna výroba, zásoby udržovány na minimu, zboží nebo materiál mohou být dopravovány v přesných časových intervalech. Výroba podniků, kde je zaveden některý z novodobých logistických konceptů je daleko pružnější a přizpůsobivější k aktuálním požadavkům trhu. Podnik tak díky těmto konceptům dokáže zůstat konkurenceschopný.

Pokud chce průmyslový podnik pružně reagovat na aktuální potřeby trhu, je pro něj nezbytná znalost svého stávajícího výrobního systému. Ta vyžaduje zpracování a ohodnocení velkého množství dat. Efektivními nástroji pro rychlé zpracování těchto dat se staly počítačové programy, bez kterých by rychlá odezva na aktuální stav nebyla možná.

Jelikož je také nutné ověřovat nové navrhované systémy, vznikly počítačové simulační programy, v jejichž prostředí je možné provádět simulační experimenty. V programu Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software je možné vytvářet detailní modely systémů logistických konceptů. Podle toho, v jaké fázi projektu se nacházíme, to mohou být navrhované nebo již reálné systémy s ohledem na to, jaký detail nebo oblast chceme řešit. Taktéž s ohledem na omezující podmínky, které mohou případná vstupní nebo výstupní data zkreslit.

V mé bakalářské práci se zaměřuji na vybrané logistické koncepty řízení zásob v rámci vnitropodnikové přepravy, na jejich vysvětlení, zhodnocení a uvedení možností, kterými je možné tyto koncepty optimalizovat. Jelikož jsou zde v úvodu zmíněny i simulační nástroje, kterými lze optimalizaci taktéž provádět, bylo provedeno v programu Plant Simulation simulační ověření logistického konceptu Kanban, které je popsáno v praktické části práce.

1 TEORETICKÁ ČÁST – LOGISTIKA

Jedná se o vědeckou nauku, která se zabývá integrovaným plánováním, koordinací a optimalizací řetězce operací v prostoru a čase, který se skládá z materiálových a s nimi spojených informačních toků. [1] Logistika uvádí do vztahu zboží, lidské zdroje, výrobní kapacity a informace. Výrobní technologie jsou již na takové úrovni, že se úzkým místem materiálového toku staly logistické operace. [2] Tzv. úzkým místem je myšleno výrobní nebo manipulační zařízení, které je v rámci logistického systému nejvíce vytíženo v porovnání s časovým vytížením ostatních zařízení. Výkonnost celého systému je tedy přímo závislá na jeho technických parametrech. [3]

V logistice dochází k velmi těsnému spojení s managementem výroby v oblasti operativního řízení výroby, kde se jedná o bezprostřední vazbu na hmotný tok. [1]

Dle [4] lze například rozlišovat tyto logistické operace:

- **Manipulační** – operace prováděné s materiálem na jednom pracovišti (např. nakládání a vykládání materiálu z přívěsu tahače);
- **Přepravní** – operace přemístění materiálu mezi dvěma různými pracovišti;
- **Skladovací** – dočasné ukládání a uchovávání materiálu pro pozdější potřebu;
- **Kompletační** – přerozdělení materiálu ve skladech na sortiment a množství požadované odběratelem;
- **Balicí** – zajištění materiálu obalem, který plní manipulační, ochrannou a informační funkci;
- **Plánovací** – plánování logistických operací;
- **Koordinační** – sledování součinnosti jednotlivých logistických operací;
- a další.

V podniku bývá logistika řešena pomocí logistického řetězce, ten bude popsán v kap. 1.2.

Pomocí vhodných metod přístupů a řídicích technik lze zefektivnit fungování jednotlivých logistických operací. Z těchto důvodů vznikly logistické koncepty řízení zásob, které budou rozebrány v kap. 1.4.

1.1 INFORMAČNÍ A MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok se zabývá přemísťováním materiálu, oproti informačnímu toku, který spočívá v přenosu informací. Oba toky jsou na sobě závislé a jeden bez druhého nemohou být realizovány. [5]

1.1.1 MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok znamená organizovaný pohyb materiálu ve výrobním procesu prováděný cílevědomě a hospodárně, a to tak, aby byl materiál v potřebném množství, kvalitě a v požadovanou dobu k dispozici na daném místě. Taktéž s předem určenou spolehlivostí. Je to pohyb prováděný pomocí manipulačních a přepravních prostředků. [2]

Podle [6] je materiálový tok typický následujícími parametry:

- Směrem;
- Intenzitou;
- Délkou;
- Strukturou;
- Vlastnostmi přepravovaného materiálu;
- Manipulační a dopravní technikou.

Při plánování materiálového toku je potřebné znát vlastnosti materiálu, se kterým bude manipulováno a podmínky, za kterých je možno s materiálem manipulovat. Z těchto důvodů se uvádí manipulační skupiny s materiály stejných nebo podobných vlastností. Klasifikace kusového materiálu podle [7] je následující:

- Podle tvaru;
- Podle polohy a stability;
- Podle hmotnosti a objemu;
- Podle dosedací plochy;
- a dalších vlastností.

Materiálový tok taktéž pracuje se zásobami podniku. Přerušením materiálového toku na určeném místě logistického řetězce (zpravidla ve skladovém článku) a po stanovenou dobu vznikají zásoby. [2] Pro podniky mají zásoby jak pozitivní, tak negativní význam. Negativa jsou taková, že váží kapitál, spotřebovávají práci a hrozí u nich nebezpečí znehodnocení materiálu. Výhodou zásob je zajištění plynulosti výrobního procesu. Řeší časový, místní a kapacitní nesoulad mezi jednotlivými částmi výrobního řetězce. Z těchto důvodů je důležité kvalitní řízení zásob, které bude vysvětleno v kap. 1.3. Podniky se snaží držet co nejnižší

zásoby. Mohou toho docílit správně fungujícím materiálovým tokem a také správně určenou strategií řízení zásob. [7]

Správné navržení materiálového toku by mělo splňovat následující požadavky [8]:

- Jednotnost směru toku bez zbytečného křížení a zpětných pohybů;
- Eliminovat zbytečnou dopravu a manipulaci s materiálem;
- Celková transportní vzdálenost musí být co nejkratší (minimalizovaná);
- Výrobní prostředky musí být uspořádány podle výrobního postupu;
- Zajistit nepřetržitost a plynulost materiálu;
- Zvýšit používání mechanizace při manipulaci s materiálem;
- Vytvořit vhodné pracovní a bezpečnostní podmínky při manipulaci s materiálem.

SLEDOVÁNÍ CHARAKTERISTIK MATERIÁLOVÉHO TOKU

Podle typu úlohy jsou sledovány a vyhodnocovány charakteristické znaky materiálového toku, které dostatečně definují daný úkol. Charakteristickými znaky např. jsou [3]:

- **Průchodnost** – obvykle je sledována na určitém zařízení nebo systému obsahujícím více zařízení, které realizují přemístění materiálu (dopravníky, tahače apod.).
- **Takt** – jedná se o dobu mezi průchody za sebou jdoucích výrobků stejným bodem např. na montážní lince.
- **Doba průchodu** – je doba, za kterou element materiálového toku urazí vzdálenost mezi body A a B.
- **Obsazenost** – zaplnění kapacity sledovaného objektu.
- **Sekvence dílů** – sledování dodržení pořadí dodávaných dílů.

1.1.2 INFORMAČNÍ TOK

Pohyb materiálu vede k vytvoření informací, které mohou být použité k vytvoření nebo usměrnění dalšího toku materiálu. Zpracování informací tedy vede k organizovanému a cílevědomému řízení materiálového toku. [4]

Informační tok rovněž určuje čas, často i sekvenci dílů, ve kterém odvolaný materiál započne materiálový tok. [5]

Následující informace mohou uvést materiálový tok do pohybu [9]:

- **objednávka zákazníka** – podklad pro dodání zboží zákazníkovi;
- **výrobní plán** – obsahuje konkrétní vyráběné položky, jejich množství a sekvenci, ve kterých budou vyráběny;
- **plán potřeby materiálu** – vychází z výrobního plánu, umožňuje detailní plánování objednávek u dodavatelů;
- **objednávky u dodavatelů** – podklad pro dodání materiálu do výroby.

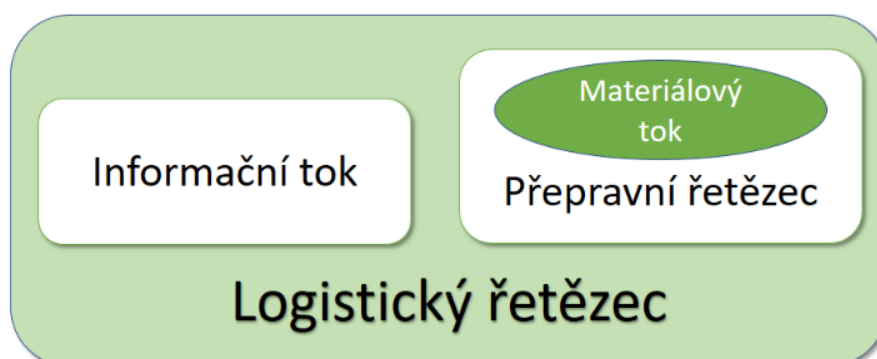
Informační tok tedy zabezpečuje [7]:

- Jednotlivé trasy dodávek materiálu;
- Komunikaci mezi jednotlivými procesy;
- Mapování systému řízení a plánování výroby.

Informační a materiálové toky mohou probíhat protisměrně, mohou se navzájem následovat, doprovázet nebo předcházet. Aby mohly toky takto probíhat, je nutná spolupráce s dalšími činnostmi, jejichž soubor bývá označován jako logistický řetězec (kap.1.2). [3]

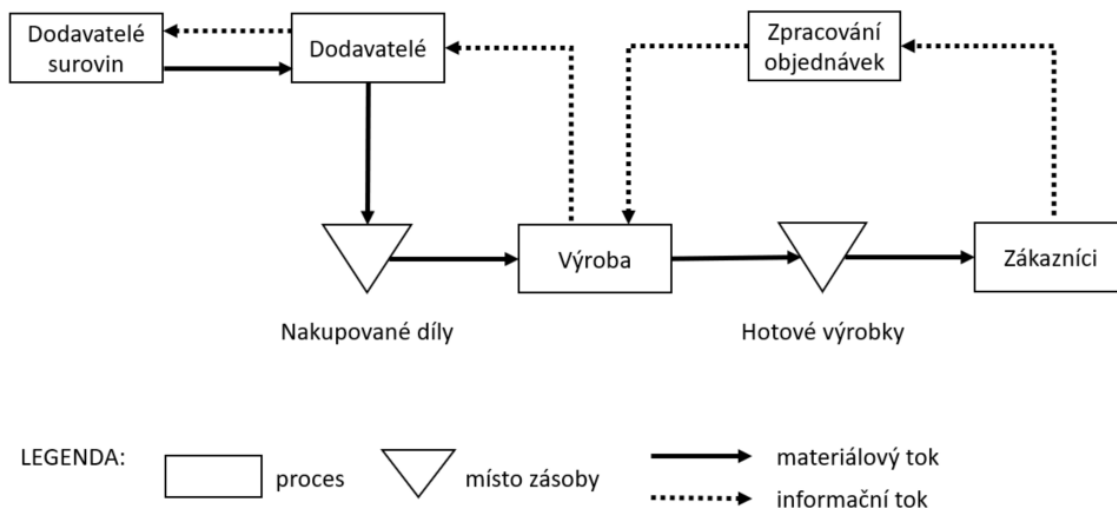
1.2 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Jedná se o spojení materiálového a informačního toku, provázanou posloupnost všech aktivit. Součástí logistického řetězce je také řetězec přepravní. Ten se skládá z činností nutných k pohybu materiálu od míst zpracování až ke konečnému spotřebiteli. [10] Vztah mezi jednotlivými toky a přepravním řetězcem lze shrnout následujícím schématem na obr.1.



Obr. 1: Přepravní a logistický řetězec [3]

Na obr. 2 je zobrazeno zjednodušené schéma informačního a materiálového toku, informace o objednávce zde směřují protisměrně vůči toku materiálu. Oba toky jsou na sobě přímo závislé a jeden bez druhého by nemohly být realizovány. [5]



Obr. 2: Logistický řetězec [zdroj vlastní]

Prvky logistického řetězce nelze izolovaně měnit nebo je zcela obejít, protože synergické účinky jednoho prvku mohou mít dopad na funkčnost celého systému. Z tohoto důvodu je nutné brát ohled jak na funkční spojitost s ostatními prvky, tak na řešení systému jako celku. [2]

K uskutečňování toků informací v logistických systémech slouží informační systém. [2] **Informační systém** je určen k podpoře celého logistického řetězce. Tento systém poskytuje údaje a algoritmy potřebné pro efektivní řízení toku materiálu. [1] Jedná se o kompaktní část logistiky, která zahrnuje podle [7] následující:

- Kompletní logistický řetězec – nákup, výroba, distribuce;
- Veškeré logistické koncepty;
- Zobrazování změn v reálném čase;
- Přesný obraz o nákladech vznikajících v logistickém řetězci.

1.3 ŘÍZENÍ ZÁSOB

Jedná se o nalezení optimálního vztahu mezi tím, jak zásoba plní svou funkci a kolik je potřeba vynaložit na její pořízení a držení. [9] Úkolem je také udržování zásob na takové úrovni, která umožňuje kvalitní splnění jejich funkce jako vyrovnávání množství nesouladu mezi procesy výroby u dodavatele a procesy spotřeby u odběratele. [11]

Strategie a metody používané při řízení zásob je třeba vhodně rozdělovat podle toho, co je pro určitou položku určující a jaké má vlastnosti. Spoluurčující hlediska jsou podle [12] následující:

- **Stupeň zpracování položky** – zásoba výrobní, rozpracovaných (výrobně ještě nedokončených) výrobků, hotových výrobků, či zboží.
- **Druh poptávky** – závislá (odvoditelná, závisí na poptávce jiné položky), nezávislá (stanovována na základě prognostických dat), smíšená.
- **Místo zásoby v podnikovém materiálovém toku** – poloha bodu rozpojení objednávkou zákazníka.
- **Kategorie položky podle klasifikace ABC, XYZ, ABC/XYZ** – tyto položky jsou vysvětleny v kap. „ABC analýza“.

Řízení zásob je taktéž ovlivňováno výrobním systémem, jehož principy predikují množství skladů, manipulačních prostředků a celkově nákladů spojených se skladováním. Dvěma základními výrobními systémy jsou Push a Pull systém [1]:

- **Push systém** – takzvaný systém tlaku, který byl v minulosti tradiční metodou, zakládá plány výroby na základě vlastních kalkulací a analýzy trhu. Tzn. vyrábí se s očekáváním, že se vše také prodá. Sklady zde slouží jako absorbátory nadměrné produkce. Příliš mnoho zásob však vede k vázání kapitálu a ke zpomalení výsledné produkce.
- **Pull systém** – oproti systému tlaku systém Pull (tahu) závisí na monitorování poptávky. Není potřeba vytvářet rezervy. Zakázka je však vytvořena pouze za předpokladu, že ještě není naplněn limit rozpracované výroby. Například v logistickém konceptu kanban, který je popsán v kapitole 1.4.1, může být tento limit dán množstvím kanbanových karet. Výkonnost tohoto systému je tedy závislá na limitu rozpracované výroby, který umožňuje řízení zásob v požadované výši.

ABC ANALÝZA

Jiným označením pro tento typ analýzy je „pravidlo 80/20“. Italský ekonom Pareto v roce 1906 provedl výpočetní odhad, že 80 % majetku spočívá v rukou 20 % obyvatel. Jinak řečeno: 80 % veškerých důsledků způsobuje pouze 20 % příčin. Když tento poznatek převedeme do oblasti řízení zásob, může to znamenat, že položky, které tvoří největší procento spotřeby (ale z celkového nabízeného sortimentu podniku pouze malou část), budou díky přesným deterministickým metodám a velké obrátkovosti tvořit nízké, ale dostatečné množství zásob. Aby nedošlo k zastavení výroby, je nutné taktéž při určování množství zásob počítat s poruchovostí, při které nastává potřeba vyrovnání výroby. [9]

V logistice dělíme zásoby podle obrátkovosti do tří skupin [13]:

- **A** – rychloobrátkové položky – velké procento spotřeby, malé procento položek.
- **B** – položky se střední obrátkovostí – střední procento spotřeby, střední procento položek.
- **C** – pomaloobrátkové položky – malé procento spotřeby, velké procento položek.

Tato analýza je důležitá pro rozmístění zásob ve skladu. Ovlivňuje tedy skladový plán, náklady a produktivitu.

K analýze ABC může být použita jako doplňková **analýza XYZ**, která klasifikuje položky podle charakteristiky spotřeby [14]:

- **X** – plynulá spotřeba – položky, u kterých je vysoká pravděpodobnost vyskladnění.
- **Y** – částečně plynulá – položky se střední pravděpodobnosti vyskladnění.
- **Z** – náhodná spotřeba – nízká pravděpodobnost vyskladnění.

Na obr.3 je zobrazena následná syntéza obou analýz do **matice ABC/XYZ**, pomocí které lze jednotlivým druhům položek přiřadit specifické strategie předzásobení/skladování a plánovací procesy. Například položky ze skupiny AX představují nejobrátkovější zboží s poměrně předvídatelným a pravidelným odbytem. Jelikož představují velkou část kapitálu, je zde cílem držet co možná nejnižší zásobu a časté dodávky zboží. [14]

	A	B	C
X	velký podíl na obratu pravidelná spotřeba	střední podíl na obratu pravidelná spotřeba	malý podíl na obratu pravidelná spotřeba
Y	velký podíl na obratu spotřeba s výkyvy	střední podíl na obratu spotřeba s výkyvy	malý podíl na obratu spotřeba s výkyvy
Z	velký podíl na obratu nepravidelná spotřeba	střední podíl na obratu nepravidelná spotřeba	malý podíl na obratu nepravidelná spotřeba

Obr. 3: Matice ABC/XYZ [15]

1.4 LOGISTICKÉ KONCEPTY ŘÍZENÍ ZÁSOb

Pomocí vhodných metod přístupů a řídicích technik se snažíme uspořádat a vybrat jednotlivé operace logistického konceptu tak, aby fungovaly co nejlépe. Tak, aby při stanovené výši nákladů byla dosažena zákazníky požadovaná úroveň poskytovaných služeb. Tento systémově chápaný sled procesů, úkonů a operací uspořádaný do dílčích ustálených procesů nazýváme logistickými koncepty. [1]

Logistických konceptů existuje celá řada, z pohledu práce však nejsou všechny zcela významné, z těchto důvodů se věnuji hlavně následujícím logistickým konceptům řízení zásob, které souvisejí s automobilovým a strojírenským průmyslem. Podle [1] mezi logistické koncepty lze zařadit:

- **Kanban** – jako odvolávka slouží tzv. kanbanové karty;
- **JIT** (Just in Time) – zaměřuje se na odstraňování ztrát ve všech fázích výrobního procesu;
- **JIS** (Just in sequence) – dodržují se pravidla JIT, navíc se dbá na pořadí dodávaného materiálu;
- **Quick response** – uplatnění systému JIT v celém zásobovacím řetězci od dodavatele surovin až ke konečnému spotřebiteli;
- Existuje mnohem více logistických konceptů řízení zásob, avšak ve strojírenském a automobilovém průmyslu nejsou natolik využívány jako výše vypsané koncepty.

1.4.1 KANBAN

Koncept, který byl v 50. a 60. letech 20. století vyvinut japonskou firmou Toyota Motors (také známý pod jménem Toyota Production Systems – TPS). Využívá tažného systému (Pull systém).

K řízení materiálového toku zde slouží tzv. kanbanové karty. V praxi se jedná o elektronickou nebo fyzickou kartu (příklad na obr.4), která nese záznam o materiálu (název, kód, místo uskladnění, objednávkové množství, kanban číslo a další). Lze využít i elektronického signálu (např. stisknutí tlačítka), kdy se na základě signálu identifikuje místo spotřeby a další potřebné informace. [1]

Dodavatel TTESA Kód dodavatele Q001.0	YK číslo YK511-90015	Sklad CG
Pořadové číslo kanbanu P001	Místo uskladnění A-01-01-0C-03	Typ kanbanu SKLADOVÝ
Měrná jednotka KG	Popis SVARECSKA ELEKTRODA	Nákladové středisko
Lead Time 50	Specifikace MA-1 3.2MM	Skupina uživatele
Způsob balení	Kód materiálu dodavatele MA-1 3.2MM	Poštovní číslo
Hmotnostní třída 1		Lokace uživatele
Objednávkové množství 00010		Číslo kontroly nákladů

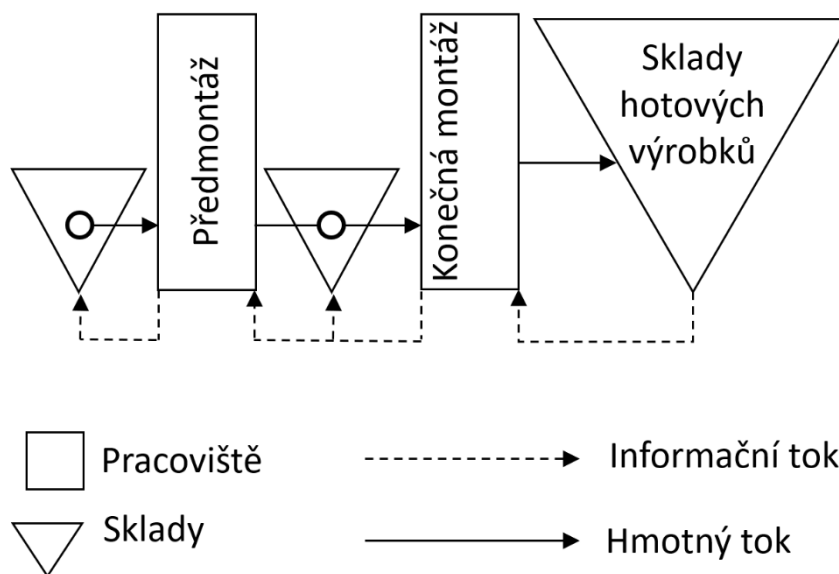
Obr. 4: Ukázka kanban karty [16]

Kanbanové karty, které mohou být [1]:

- **transportní** – používány k určení, kdy a kolik položek má být dopraveno na výrobní linku;
- **výrobní** – používány k určení provozních instrukcí ke specifickým procesům.

Dodavatel může přichystat, případně vyrobit požadovaný materiál a odeslat k odběrateli až ve chvíli, kdy obdrží od odběratele výrobní kartu (příslušný signál), která plní funkci objednávky. [5]

Na obr.5 je znázorněna podstata výrobního řízení konceptu kanban. Jsou zvýrazněny materiálové a informační toky, které zde vedou protisměrně. Poté, co přijde do skladu hotových výrobků požadavek na nový výrobek, je tato informace přenesena na pracoviště, kde probíhá konečná montáž. Toto pracoviště si následně vyžádá potřebný materiál z mezioperačního skladu, který je zásoben rozpracovanými výrobky z pracoviště s názvem „předmontáž“. Materiálový tok na jednotlivých stanovištích započne vždy až po příchodu příslušné informace (kanbanové karty). Tímto způsobem se v některých případech může postupovat až po těžbu surovin.



Obr. 5: Výrobní řízení na principu Kanban [17]

Druhy Kanbanu [5]:

- **Tradiční Kanban** – kanbanová karta zařazena do oběhu v okamžiku spotřeby dílů z přepravky.
- **Signální Kanban** – stanovená přesná výše hladiny zásob dílů na pracovišti, při jejímž dosažení je vytvořen kanbanový signál (karta, elektronický signál apod.).
- **Fax-Kanban** – nahrazení fyzických karet jejich faxováním na místo jejich fyzického převozu.
- **E-Kanban** – eliminuje problém fyzických karet (ztráty, poškození atd.); využívá skenování čárových kódů s informacemi o dodávaných dílech; probíhá zde elektronická evidence odvolávek. Je však oproti předchozím druhům finančně náročnější a v případech výpadků proudu nebo skenovacího systému může dojít k zastavení výroby.

Vyjmenované druhy kanbanu nám svým pořadím výčtu zároveň ukazují možnosti optimalizace tohoto konceptu. Avšak změna z jednoho druhu kanbanového konceptu na druhý může být dosti nákladná.

Správné načasování a naplánování jednotlivých procesů bývá komplikované a složité. Většinou probíhá podle normativ nebo reálné výroby. Pro výrobce však může být v tuto chvíli již pozdě.

Přínosy ze zavedení konceptu Kanban [18]:

- Zavedením dochází ke snižování výrobních dávek (soubor výrobků vyráběných v těsném sledu za sebou, s jednorázovým vynaložením nákladů na přípravu a zakončení příslušného procesu), čímž můžeme pružněji reagovat na potřeby zákazníka.
- Menší výrobní dávka znamená méně dílů ve výrobě a tím menší požadavky na prostor (sklady) a snížení ztrát při nekvalitní výrobě.
- Zpřehlednění informačního a materiálového toku ve výrobě – všechny informace se nacházejí na kanbanových kartách.

Koncept kanban je používán ve strojírenské výrobě, zvláště v automobilovém průmyslu. Tuto metodu lze používat ve velkosériové výrobě s ustáleným prodejem. Výrobní operace lze snadno sladit a nedochází tak k velkým změnám požadavků na finální výrobu. [1]

1.4.2 JUST IN TIME (JIT)

Koncept JIT se objevil počátkem 80. let v Japonsku a USA. Můžeme jej chápat spíše jako určitou filozofii řízení výroby nebo optimalizaci logistického řetězce než jako konkrétní logistický koncept. Zaměřuje se hlavně na odstraňování ztrát ve všech místech a fázích výrobního procesu. Klade důraz na spolehlivost a přesnost. Uplatnění tohoto konceptu se nachází zejména tam, kde je stabilní poptávka. [19]

Nezbytné pro koncept JIT je výrobní propojení a úzká spolupráce mezi dodavatelem a odběratelem, přičemž ve výhodě jsou dodavatelé, kteří sídlí v blízkosti odběratele. Díky propojení informačních toků obou stran lze materiál na výrobní linku dodávat v přesných časových okamžicích a v přesném množství. [1]

Podle konkrétního uspořádání výrobní linky se zde uplatňuje pouze mezioperační zásoba, která má za úkol pokrýt výpadek dodávky materiálu při případném zdržení přepravních prostředků nebo jiné poruše s dodávkou materiálu. Proto se dodavatelé často snaží umístit svou výrobu do blízkosti odběratelů anebo budují v blízkosti sklady s pojistnou zásobou. [1]

Při využívání metody JIT dochází k redukci zásob, ke značnému zkrácení doby toku materiálu a ke snížení velikosti potřebných prostorů pro výrobní proces. [3] V každých podmínkách může negativně přispět k přetížení tuzemských silnic a s tím souvisejícím větším zatížením životního prostředí.

SHRNUTÍ VÝROBY PŘI UPLATNĚNÍ KONCEPTU JIT:

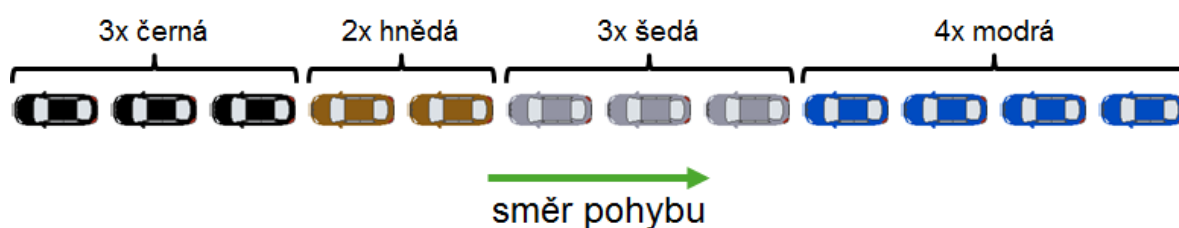
JIT je podle [17] uplatňováno pomocí následujících postupů:

- Zkrácením prostojů – např. zjednodušením nastavovacích a seřizovacích operací a jejich automatizací;
- Zavedením malých výrobních dávek;
- Snahou ustálené úrovně výroby:
 - Lepší prostorová situace;
 - Pracovníci s několika kvalifikacemi;
 - Úplná kontrola jakosti u zdroje;
 - Preventivní údržba;
 - Tažné zásobování pracoviště (Kanban).

Z těchto postupů následně plynou výhody konceptu JIT [17]:

- Menší zásoba materiálu a hotových výrobků;
- Méně rozpracované výroby;
- Lepší jakost – menší zmetkovitost;
- Kratší dodací lhůty;
- Lepší pružnost výroby;
- Menší pravděpodobnost prostojů;
- Vyšší produktivita.

Za propracovanější formu technologie JIT považujeme koncept **JIS** (Just-In-Sequence), který dodržuje nejen pravidla JIT, ale navíc dbá na požadované pořadí (sekvenci) dodávaného materiálu (komponentu), v jakém přichází k finální montáži nebo již dříve do meziskladů. [2] Příklad sekvence je zobrazen na obr. 6, na kterém je znázorněno vytvoření barevných bloků karoserií pro vstup do lakovny. Dodavatel tedy zná plán výroby i s posloupností, v jaké bude probíhat a podle toho již uspořádá materiál potřebný pro technologickou operaci nebo dopravu. [20]



Obr. 6: Sekvence barevných bloků karoserií [21]

1.4.3 QUICK RESPONSE

Technologie, která vede přes velkoobchod do maloobchodní sítě. Jedná se o zdokonalené řízení zásob a zvýšení efektivity prostřednictvím urychlení toku materiálu. Každý článek řetězce sdílí informace o prodejkách, objednávkách a zásobách s ostatními články. Řetězcem se rozumí články od výrobce až po prodejny maloobchodu. [1] Jde prakticky o uplatnění principu JIT v celém zásobovacím řetězci od dodavatele surovin výrobcí až ke konečnému spotřebiteli. [12]

Podle [1] tato technologie předpokládá zavedení automatické identifikace (čárové kódy) a elektronickou výměnu dat (EDI). Zároveň má následující přínosy:

- Zrychlení toku informací;
- Kontrola zásob umožňující jejich snížení (až o 42%) a objednávka zboží každý den;
- Snížení rozsahu manipulace se zbožím;
- Zmenšení nároku na skladovací plochu (umožňuje rozšířit prodejní plochy);
- Úspora času v řetězci dosahuje i několik týdnů;
- Zboží je do prodejen dodáváno během 24–48 hodin.

Ostatní logistické koncepty jsou většinou rozšířenou variantou systému JIT, kdy je nezbytná intenzivní spolupráce mezi odběratelem a dodavatelem, elektronická identifikace a elektronická výměna dat. Například koncept Efficient Consumer Response se liší od technologie Quick response tím, že předpokládá elektronický převod bankovních dat a financí. [1] Koncept Cross-Docking je význačný využíváním začlenění distribučního centra jako článku do dodavatelského řetězce. Tyto technologie jsou využívány především tam, kde je kladen důraz na rychlost distribuce.

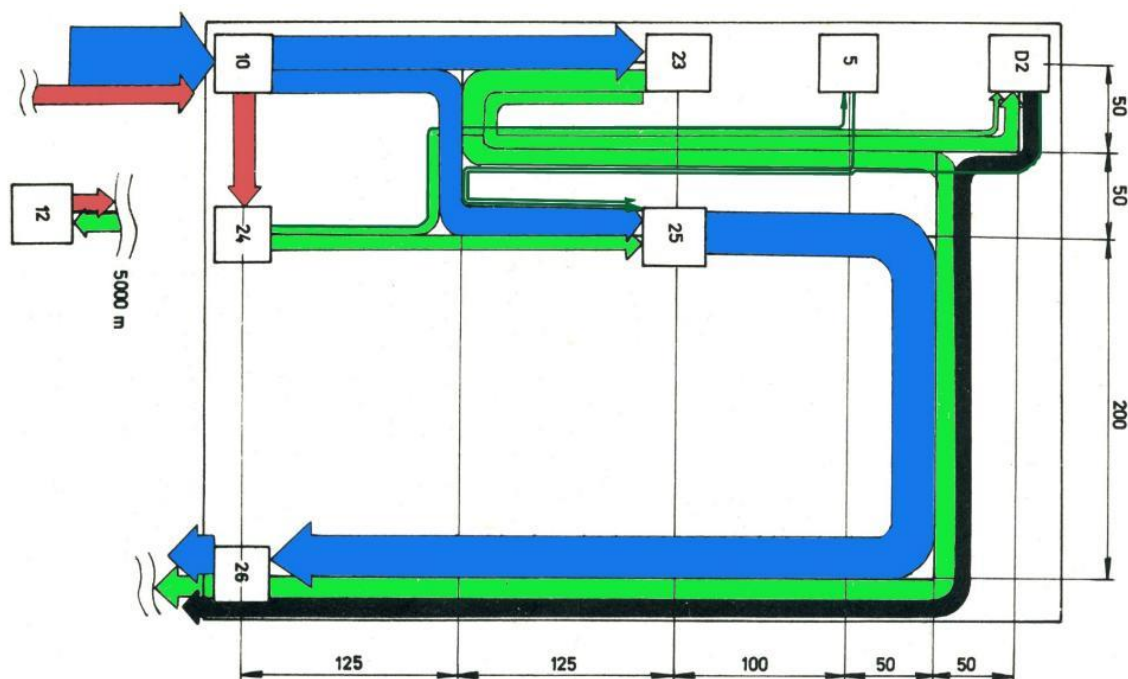
Jednotlivé vlastnosti konceptů se mohou při řešení konkrétního zadání prolínat a je vždy na zvážení, které principy jsou dostačující a nedojde tak například ke zbytečným investicím v oblasti, která neovlivní výslednou produkci podniku. Dnes se v takových situacích ke zhodnocení různých variant řešení, mimo jiné, využívají počítačové simulace logistických úloh, které budou popsány v kapitole 1.5.1.

1.5 OPTIMALIZACE

Cílem optimalizace je vylepšení aktuálního nebo plánovaného systému za účelem zlepšení výroby (např. zkrácení taktu) nebo částečné úspory financí. Snaha o optimalizaci vzniká ve všech fázích výrobního cyklu.

V praxi bývá pohlíženo na optimalizaci jako na výběr variant z technicky možných realizovatelných řešení, kdy je při výběru posuzován a brán ohled mimo jiné i na finanční náklady realizování jednotlivých řešení. Tato řešení vychází již z ustálených, či v současnosti používaných systémů na stejné bázi. Znamená to, že je často vybíráno technicky proveditelné a finančně přijatelné řešení, které nemusí být to technicky nejlepší. V případě sériové a hromadné výroby je každé zvýšení nákladů multiplikováno vysokým množstvím vyráběných kusů. [8]

Při provádění optimalizace materiálového toku může být použito vyhodnocení výsledků experimentů simulačního modelu nebo například Sankeyovy diagramy, které znázorňují intenzitu materiálového toku v jednotlivých úsecích mezi pracovišti – viz obr.7 – šířka šipky udává množství materiálu, které je přepravováno mezi stanovišti, v rámečcích se nachází označení pracovišť. Zpravidla množství materiálu, které vchází do výrobního procesu, z něj také vychází, ať už ve formě hotového výrobku nebo odpadu při výrobě.



Obr. 7: Sankeyův diagram [22]

Při řešení optimalizace materiálového toku je nutné brát v úvahu tyto aspekty [8]:

- Charakteristiku manipulovaného a dopravovaného materiálu;
- Používanou technologii a techniku (technický postup);
- Doba a termín realizace;
- Služby;
- Náklady;
- Požadavky na flexibilitu.

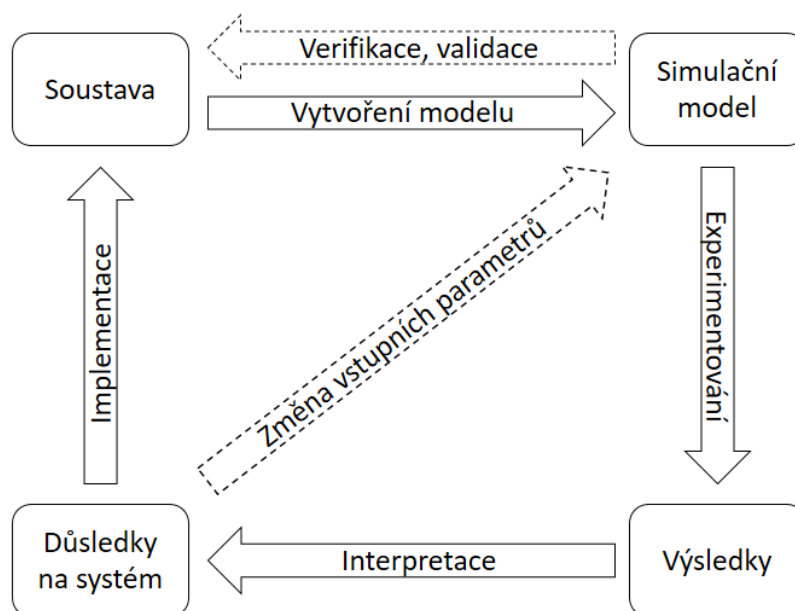
1.5.1 SIMULACE

Jedná se o přípravu, provedení a vyhodnocení experimentů provedených pomocí simulačního modelu. Cílem je lépe pochopit chování, vlastnosti a funkce modelovaného systému bez jeho samotné realizace. [2] Tímto lze zabránit případným kolizím a problémům, které mohou nastat např. v případech, v nichž není možné prováděné změny otestovat mimo pracovní dobu (např. ve 24 hodinovém provozu) [23]

K řešení rozsáhlých logistických systémů nebo jejich částí je využíváno simulace v podobě počítačového modelu, do kterého je reálný systém přenesen. Prováděním experimentů na modelech a pomocí změn parametrů modelu lze ověřit jeho varianty. Simulaci lze využít ve fázi plánování i realizace. [3]

Při tvorbě simulačního modelu nastávají složité situace, kdy je zavedení zjednodušujících předpokladů nezbytné. Je však nutné zvážit, jaké předpoklady mohou být s ohledem na prokazatelnost výsledků zavedeny. Proto se v takových případech často zavádí rozpad systému, který se ověří po částech a následně se provede jeho syntéza. Je však důležité promyslet a definovat rozdělení systému tak, aby výsledky byly vypovídající. [5]

Způsob tvorby simulačních modelů znázorňuje schéma na obr.8, ve kterém je zřetelné pořadí a směr jednotlivých úkonů nutných k vytvoření vypovídajícího modelu.



Obr. 8: Cyklus simulačního projektu [4]

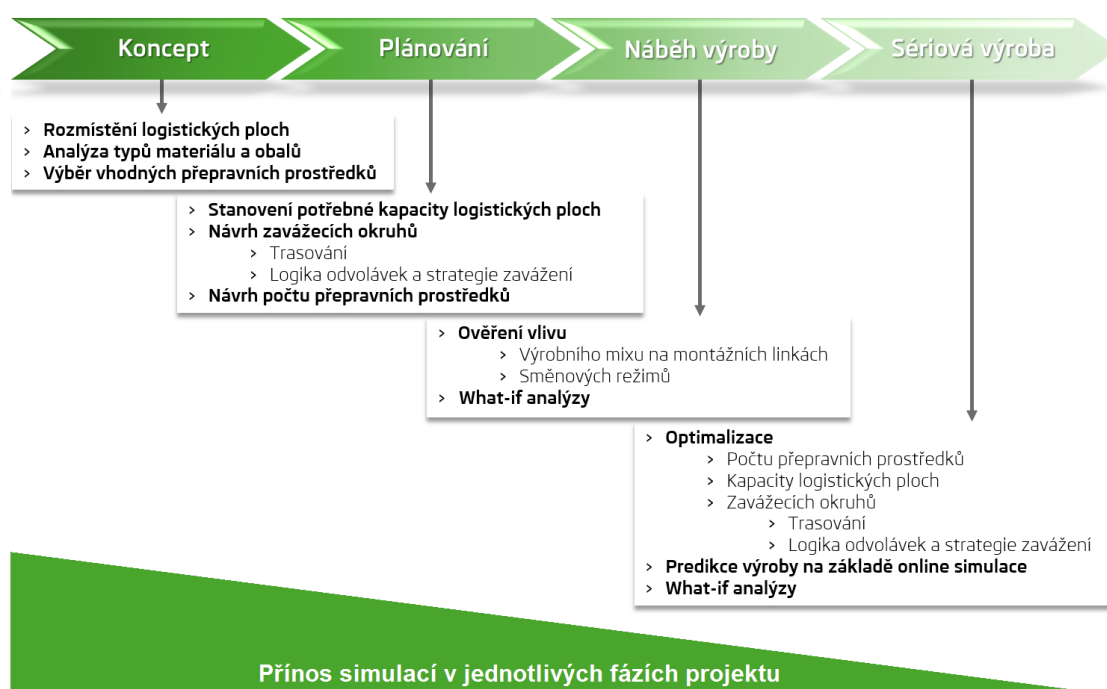
PŘÍNOSY SIMULACE

Simulace pomáhají predikovat chování systémů a relativně rychle provádět experimenty různých variant řešení. [5] Jsme schopni pomoci simulace odpovídat na otázky typu: „Co se stane, když...“, jelikož můžeme studovat a experimentovat jak s kompletním systémem, tak i jen s jeho částmi. [21]

Pro již provozovanou nebo plánovanou soustavu je vytvořen simulační model podle předem určené míry detailnosti, který je vždy nutné ověřit, zda odpovídá chování reálné nebo plánované soustavě (proces validace a verifikace, tyto pojmy jsou vysvětleny v samostatné kapitole). Ověřený model je následně vhodný pro provádění experimentů. Zvolením akceptovatelné varianty přechází cyklus simulačního modelu do fáze implementace navržených změn do reálného systému. [5]

Při vyhodnocování a určování užitečnosti simulace je zásadní správnost a přesnost modelu. Zavedená zjednodušení v modelu a sledování modelu po částech může napomáhat větší důvěryhodnosti modelu. Simulační modely mohou být tvořeny vývojovými prvky, které umožňují dynamicky měnit parametry jednotlivých objektů. Tato schopnost přidává značnou flexibilitu modelů a zvyšuje šanci rozpoznat a lokalizovat problémová místa. [24]

Přínos počítačové simulace je zejména závislý na fázi projektu, ve které se simulace provádí. Například ve fázi plánování se pomocí simulace může ověřit kapacita logistických ploch nebo počet přepravních prostředků, viz obr.9. Největší přínos simulace je však ve fázi konceptů. V této fázi může největší mírou ovlivnit tok investic do plánovaného systému. [5]



Obr. 9: Přínos simulací v jednotlivých fázích logistického projektu [25]

SOFTWARE PLANT SIMULATION

Tecnomatix Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software je software pro simulaci diskretních událostí. S jeho pomocí lze vytvářet digitální simulační modely materiálového toku – výrobních procesů, logistických systémů a operací. Díky výstupním údajům lze následně vytvářet návrhy optimalizace těchto systémů.

V SW Plant Simulation se pro programování využívá vlastní programovací jazyk SimTalk. Pro zjednodušení konstrukce modelů a jako základ SW se při tvorbě simulačních modelů používá předprogramovaných prvků, které reprezentují objekt reálného systému. [8]

Spojením předprogramovaných objektů z knihoven SW Plant Simulation a využíváním programování skrze metody obsahující kód, umožňuje SW vytvářet komplexní simulační modely. Tyto komplexní modely prakticky odpovídají chování reálného systému. Funkce SW Plant Simulation umožňuje experimentovat s modelem v relativně krátkých časových obdobích (v závislosti na složitosti modelu). Další výhodou SW Plant Simulation je možnost vkládání vstupních dat definujících chování modelu prostřednictvím rozhraní z jiných softwarů, např. z MS Excel. [5]

Pomocí základních knihoven prvků SW Plant Simulation je tvorba komplexních simulačních modelů často příliš složitá. Z toho důvodu byly vytvořeny **modulární knihovny VDA**. Jedná se o nadstavbové knihovny prvků skupiny VDA (německé sdružení automobilového průmyslu), díky kterým lze vytvářet modely pro účely simulačních studií. Cílem skupiny VDA je vytvářet nástroje, metody, rozhraní a standardy pro realizaci simulačních studií a tvorbu simulačních modelů. Dodržení těchto standardů je často vyžadováno zadavateli simulačních studií z oboru automobilového průmyslu, kteří požadují univerzální opakovatelnou využitelnost simulačních modelů svých výrobních provozů. VDA knihovny zvyšují efektivitu a míru detailnosti vytvářených simulačních modelů. [26]

Využívání modulárních VDA knihoven pro SW Plant Simulation je možné pouze s licencí, která je poměrně nákladná. Proto je velice důležité propočítat potřebu investice. Avšak v automobilovém průmyslu jsou simulace nezbytnou součástí plánovacího procesu. Jen přesným sladěním úkonů lze dodržet přesný výrobní plán. [5]

Ověření správnosti a kontrola simulačního modelu se vždy odvíjí od stanovených systémových hranic, míry detailnosti modelu, zjednodušení modelové soustavy, použitých vstupních dat apod. Je nutné na tyto hranice vždy poukázat a říct, do jaké míry mohou tato zavedená zjednodušení ovlivnit výsledky modelu. Vypovídající schopnost modelu je tak závislá na velkém počtu proměnných. Do jaké míry bude potvrzena správnost simulačního modelu a kontrola jeho hodnot plně závisí na práci a přesvědčení subjektu-simulanta. Ověření

a kontrola modelu souvisí s pojmy validace a verifikace, které budou vysvětleny v následující kapitole. [4]

VALIDACE A VERIFIKACE

Tyto pojmy definujeme dle [4] takto:

- **Verifikace** – považuje se za formální kontrolu správnosti simulačního modelu. Ověřuje se tak například správnost logiky řízení.
- **Validace** – je kontrolou požadované shody mezi simulačním modelem a originálem. Zajišťuje to, že simulační model odráží chování simulované soustavy se stanovenou přesností.

Proces verifikace by měl probíhat již během tvorby modelu na jeho ucelených částech. Výsledná verifikace již hotového modelu tak může být mnohem snadnější. Nesprávně vytvořený model, i přesto, že může být detailní a velmi precizní, je bez poskytování správných výsledků zbytečný. [27]

Metody validace jsou různé, mohou být porovnávána poskytovaná data s reálným systémem, jiným modelem nebo za použití statistických metod. Pokud by byl výsledek validačního procesu negativní, je potřeba simulační model modifikovat a opět znovu verifikovat a validovat. [27]

Úspěšnou verifikací a validací končí proces návrhu a tvorby simulačního modelu.

1.6 PŘEPRAVNÍ A MANIPULAČNÍ PROSTŘEDKY

Přepavním prostředkem je dopravní zařízení, které slouží k přemísťování materiálu (nákladu). Proces přepravy je charakterizován pohybem dopravních zařízení po dopravní cestě. Podsystemem dopravních prostředků jsou vozidla (poháněná i vlečená), letadla a plavidla.

Často se při přepravě materiálu na delší vzdálenosti používá tzv. **intermodální doprava**. Rozumí se tím přeprava zboží loženého v jedné a téže přepravní standardizované jednotce při použití několika druhů dopravy (např. silniční a železniční). Přepravní jednotkou je zpravidla kontejner nebo silniční návěs (přívěs). Tato jednotka plní funkci přepravního prostředku, funkci ochranného prostředku zabezpečujícího zboží v něm uložené před mechanickými a povětrnostními vlivy, a v případě kontejnerů a některých výměnných nástaveb funkci skladovacího prostředí. [12]

Převážní prostředky používané pro intermodální dopravu:

- Železniční kontejnerové vozy;
- Silniční vozidla;
 - Tahač s návěsem;
 - Tahač s kontejnerovými návěsy (obr.10);
 - Tahač meziobjektové přepravy (obr.11).



Obr. 10: Tahač s kontejnerovými návěsy [28]



Obr. 11: Tahač meziobjektové přepravy [29]

V rámci podniku se přeprava materiálu dělí na:

- Meziobjektovou přepravu – použití tahače s přívěsem nebo tahače meziobjektové přepravy, případně vysokozdvizného vozíku;
- Vnitroobjektovou přepravu – využívá automaticky naváděných bezpilotních tahačů (obr.12, tzv. FTS vozíky) nebo tahačů vnitroobjektové přepravy s obsluhou (obr.13).



Obr. 12: FTS vozík [30]



Obr. 13: Tahač s obsluhou [31]

Různé typy přepravních prostředků umožňují bezprostředně reagovat na potřeby logistiky. Z hlediska efektivního využití přepravních prostředků je však nutné naplánovat používání těchto prostředků, a to z těchto pohledů [5]:

- Maximální možné zatížení;
- Maximální využití ložné plochy;
- Maximální počet jízd;
- Sladění s manipulačními prostředky pro nakládání/vykládání přepravního prostředku;
- Minimální čekací doba na operace.

Požadavky logistiky jsou často protichůdné. Například maximální vytížení přepravních prostředků vůči maximálnímu počtu jízd. Pokud prostředek absolvuje maximální počet jízd, na jednu jízdu tak případně méně převezeného materiálu, než by tomu bylo v případě, kdy by prostředek vezl maximální možné množství materiálu. V takovém případě absolvuje přepravní prostředek menší počet jízd, tzn. je méně vytížen. Není tedy vždy tak jednoduché určit jejich správný počet nebo potřebu jiného druhu přepravního prostředku, např. namísto velkého tahače s přívěsem použití menšího tahače meziobjektové přepravy, který bude z dlouhodobějšího hlediska úspornější.

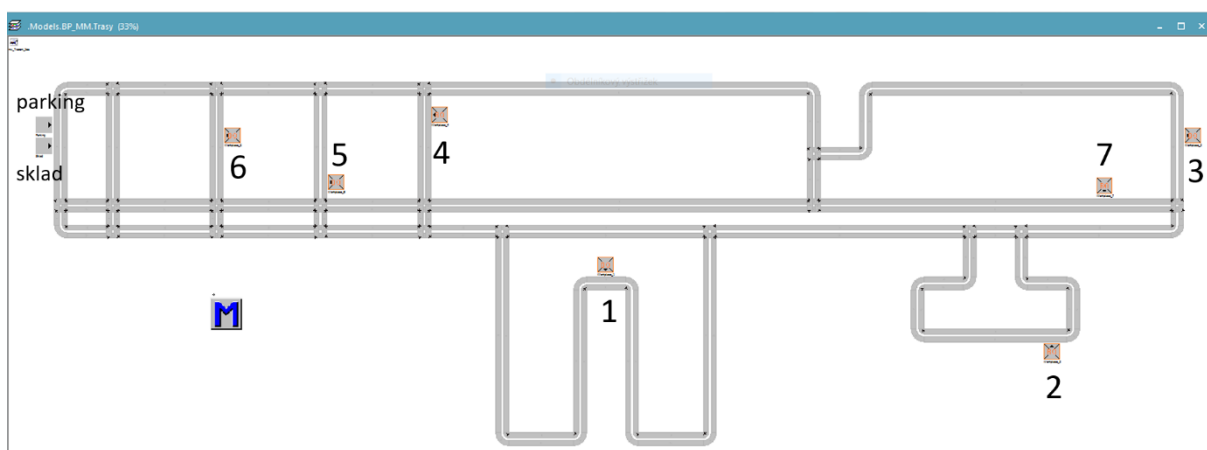
2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem této části práce je přiblížení simulačního modelu šetřeného logistického okruhu – rozmístění pracovišť, logika řízení, jeho parametrizace. Následuje verifikace a validace modelu. Obsahem je popis a porovnání jednotlivých optimalizačních návrhů a určení nejvhodnějšího nastavení parametrů modelu (okruhu).

2.1 SIMULAČNÍ MODEL

V programu Plant Simulation byl vytvořen simulační model logistického okruhu, který je řízen podle principu logistického konceptu typu Kanban. Zkoumaný okruh vychází z dekompozice velké montážní haly. Pro jednoduchost je pozornost zaměřena pouze na jeden logistický okruh. Odvolávky jsou zde evidovány elektronickým systémem. Prostředkem meziobjektové přepravy je tahač s přívěsy.

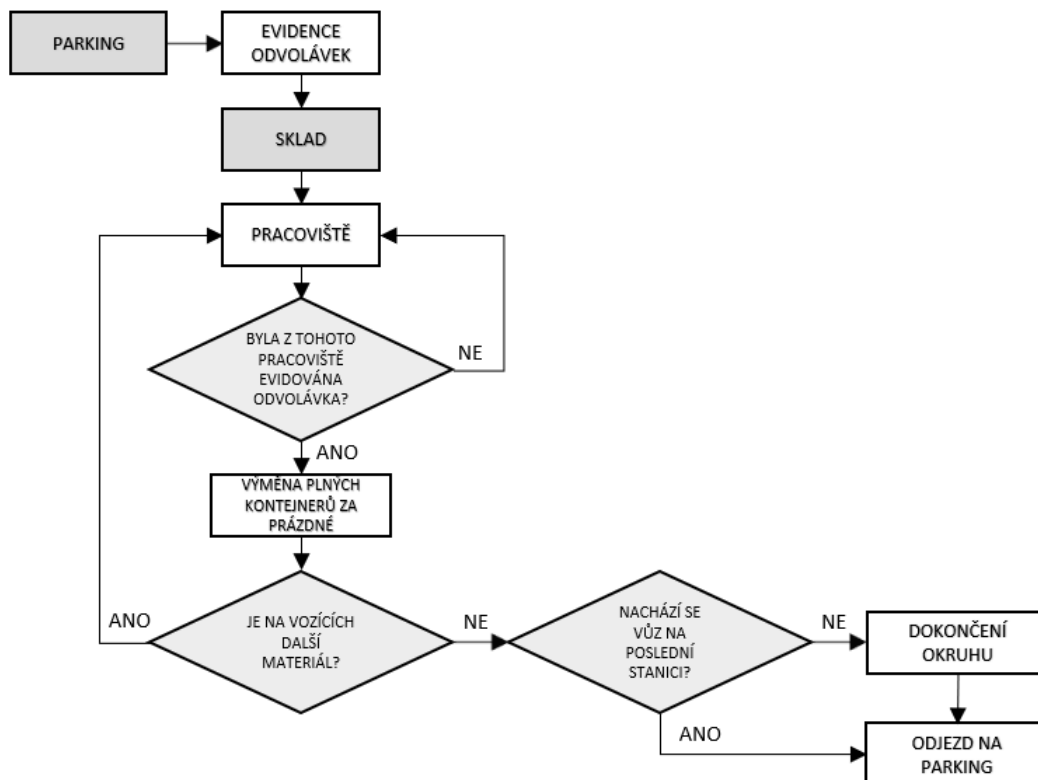
Schéma cest bylo nejdříve vytvořeno v CAD softwaru Microstation a následně pomocí exportu souřadnic převedeno do programu Plant Simulation. Simulační model se stanicemi a pracovišti je zobrazen na obr. 14. Pracoviště jsou označena čísly od 1 do 7. Číslo pracoviště také znamená pořadí objíždění stanic při doplňování materiálu. Tzn. tahač se vždy drží své trasy, která začíná na místě, kde se nachází parking a sklad, odkud postupně objede všechny stanice podle jejich číselného názvu (vzestupně od čísla 1). Tedy, i přesto, že odvolávka přijde z pracoviště 6, které je ke skladu nejbližší, tahač urazí celou svou trasu, nehledě na umístění pracoviště, z kterého přišla odvolávka. Toto výchozí pořadí objíždění stanic je dáno z původního kartového (tradičního) kanbanu, který byl převeden na kanban elektronický.



Obr. 14: Simulační model

2.1.1 POJMOVÝ MODEL

Simulační model je ve formě vývojového diagramu popsán na obr. 15. Jsou zde popsány situace vznikající v simulovaném logistickém okruhu od jeho počátku až po vyložení materiálu na jednotlivých pracovištích a ukončení okruhu. Pokud se na pracovišti nachází prázdný kontejner (kap.2.1.2), tzn. neobsahuje již žádné díly, je tento kontejner odvezen zpět do skladu. Díly, které jsou přivezeny na pracoviště jsou dále zpracovávány na montáži.



Obr. 15: Pojmový model

Tahač čeká na parkingu do té doby, než elektronický systém zjistí odvolávku z pracoviště. V tu chvíli přejíždí do skladu, kde probíhá příprava soupravy. Následně tahač s přívěsy objíždí jednotlivá pracoviště. Materiál je na pracovištích vyložen nebo nevyložen, podle toho, jestli již systém zaevidoval příslušnou odvolávku.

2.1.2 PARAMETRIZACE MODELU

K simulačnímu modelu byla vytvořena jednoduchá parametrizace pomocí metod (celek programovacího kódu), které zapisují hodnoty z tabulky parametrů (obr.16) do příslušných tabulek logistických prvků knihovny VDA. V tabulce parametrů lze nastavit celkem 18 položek, z toho 6 tabulek, do kterých lze zapisovat hodnoty přímo ke konkrétním pracovištím, např. hladiny odvolávek na pracovištích. Díky této parametrizaci lze přehledně měnit nastavení modelu a vytvářet tak různé varianty návrhů optimalizace (viz kap.2.2).

	string 0	boolean 1	list 2	string 3	string 4	integer 5	speed[m/s] 6	integer 7	real 8	time 9
string	Okruh	Active	Sekvence_tras	Start_Interval	Start_Offset	Pocet_tahacu	Rychlost_tahacu	Pocet_voziku	Kapacita_voziku_cnt	Vymena_cnt
1	LF_Workplace	true	t_Sekvence	1:00.0000	2:00.0000	1	6	4	1.00	0.0000

time 10	time 11	time 12	table 13	table 14	table 15	table 16	table 17	table 18
Prodleva_pripravy_vlaku	Zahakování	Vyhakování	Pocet_cnt_stanice	Pocet_cnt_sklad	Pocet_parts_v_cnt	Odvolavka	Pocet_odvolanych_dilu	Takt_spotreby
0.0000	0.0000	0.0000	Tabulka_1	Tabulka_2	Tabulka_3	Tabulka_4	Tabulka_5	Tabulka_6

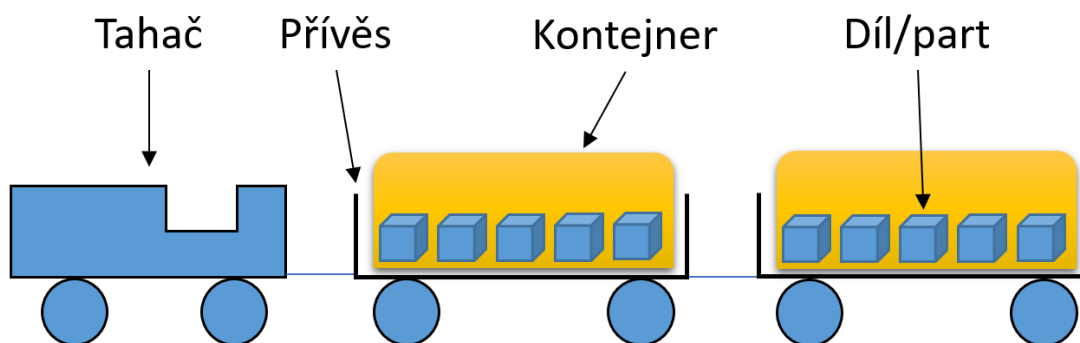
Obr. 16: Parametry modelu

Prostředkem meziobjektové přepravy v simulačním modelu je tahač s přívěsy. Tento tahač může maximálně táhnout 4 přívěsy a pohybuje se rychlostí 20 km/h.

Jako přepravovaný materiál uvažujeme z důvodu zavádění zjednodušujících předpokladů blíže nespecifikované montážní díly, jejichž spotřeba probíhá na pracovištích. Tyto díly jsou ze skladu na pracoviště převáženy v kontejnerech:

- Počet dílů v kontejneru byl stanoven na 5.
- Na každý přívěs vždy připadá pouze 1 kontejner.

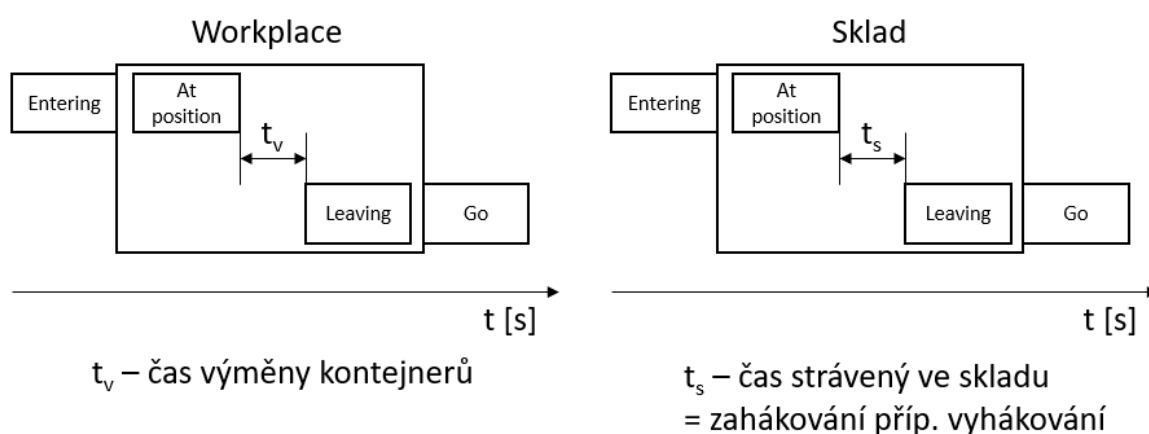
Pro názornost jsou vztahy mezi díly, kontejnerem a přívěsem znázorněny na přepravní soupravě, která je zobrazena na obr. 17.



Obr. 17: Přepravní souprava

Po přijetí odvolávky z pracoviště se tahač přesune z místa parkingu do skladu, kde se vytváří celá přepravní souprava. Čas, který je potřebný pro vytvoření soupravy je závislý na čase zahákování jednotlivých přívěsů. Parametr tahač veze vždy 4 přívěsy, tudíž čas zahákování je při vytváření soupravy konstantní. Taktéž při odvážení prázdných kontejnerů z pracovišť do skladu je čas vyhákování konstantní. Doba zahákování a vyhákování je tedy přímo závislá na počtu vozíků.

Na stanicích nastávají pro dopravní soupravu vždy 4 stavy, které jsou znázorněny na obr. 18. Souprava přijíždí do stanice ze stavu „Entering“ a opouští stanici stavem „Go“. Stavy „Entering“ a „At position“ mají v tomto modelu stejnou časovou hodnotu. Taktéž stavy „Leaving“ a „Go“ jsou pro zjednodušení časově totožné.



Obr. 18: Stavy na stanicích

Aby bylo možné porovnávat jednotlivé optimalizační návrhy, je nutné upřesnit, které vlastnosti modelu budou sledovány. Protože se jedná o logistický okruh, je důležité vyhodnocovat hlavně následující kritéria:

- Stavy zásob na pracovištích v čase;
- Vytížení dopravních prostředků, které se skládá z 4 následujících stavů:
 - Vykládání materiálu = výměna kontejnerů na pracovištích;
 - Čas strávený ve skladu = zahákování soupravy + vyhákování soupravy po příjezdu tahače s prázdnými kontejnery;
 - Čekání = čas strávený na parkovišti;
 - Doba jízdy tahače.

Doba simulace byla při simulaci výchozího stavu a optimalizačních variant nastavena na 10 dní. Provoz byl bez pauz-nepřetržitý, bezporuchový a hodnoty parametrů byly po dobu simulace neměnné.

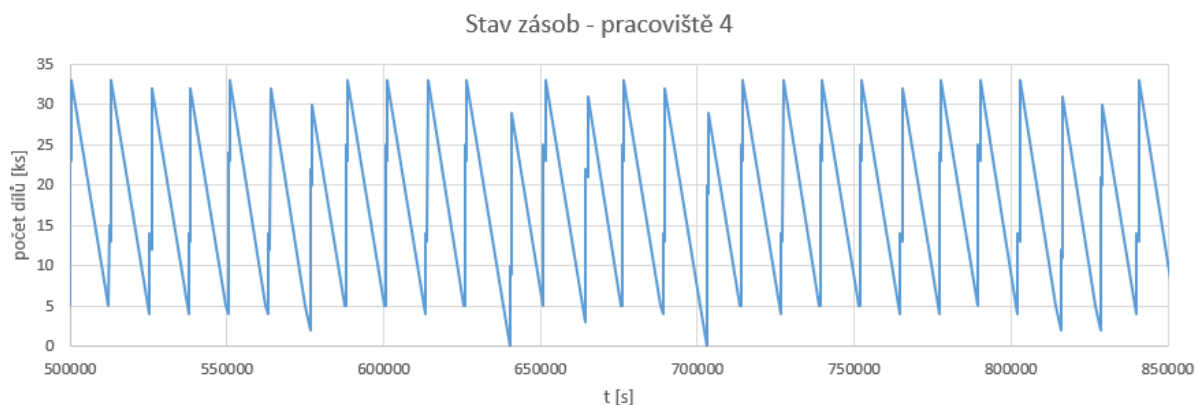
2.1.3 VÝCHOZÍ STAV MODELU

Výchozí stav simulačního modelu je zobrazen v příloze 1. Nastavení parametrů výchozího stavu, pomocí kterých proběhne následná optimalizace modelu jsou uvedeny v tab.1.

Tab. 1: Hodnoty vybraných parametrů výchozího stavu modelu

Sekvence objíždění stanic	Pracoviště 1
	Pracoviště 2
	Pracoviště 3
	Pracoviště 4
	Pracoviště 5
	Pracoviště 6
	Pracoviště 7
Hladina odvolávky (na pracovištích 1–7)	5
Počet tahačů	1
Start Interval	90 s

Vyhodnocování stavu zásob na jednotlivých pracovištích probíhá pomocí grafu, ve kterém je zřetelně vidět, kdy zásoba dílů klesne až na nulovou hodnotu. Pro přehlednost je část grafu zobrazena na obr.19, celý graf se nachází v příloze 2. Jsou zde zobrazeny stavy zásob v čase na pracovišti č.4. Časová osa je v grafu totožná s osou x a na ose y se nachází stav dílů na pracovišti v kusech.



Obr. 19: Část grafu zásob v čase na pracovišti 4

Stav nulových zásob na pracovišti neznamena zastavení montážní linky. Je však nutné do doby spotřebování posledního dílu přivést díly další, aby k zastavení linky opravdu nedošlo. Existuje zde tedy časová rezerva v délce taktu spotřeby dílů.

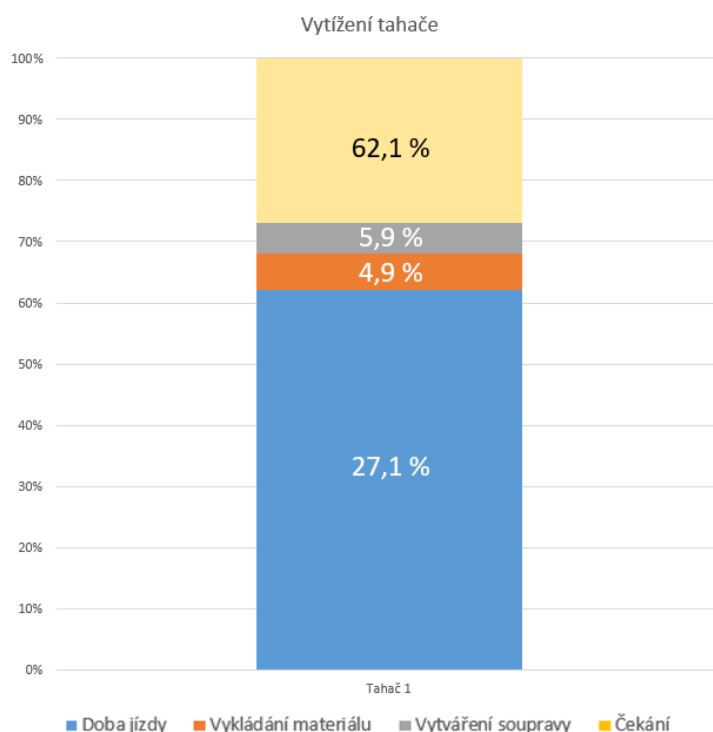
Následně jsou počty stavů nulových zásob vypsány v tab.1. Při původním stavu tedy dojde během doby simulace k 57 stavům nulové zásoby na pracovišti.

Tab. 2: Počet případů nulových zásob na pracovišti

Pracoviště	Výchozí stav
1	1
2	9
3	0
4	2
5	1
6	32
7	12
Suma	57

Vytížení tahače je zkoumáno podle stavů popsaných v kap.2.1.2, kde je vykládání materiálu reprezentováno časy tahače strávených na pracovištích. Jedná se vždy o součet rozdílů časů mezi stavy „Entering“ a „Go“, příp. stavy „At position“ a „Leaving“, na pracovištích. Analogicky se zjišťuje čas strávený tahačem ve skladu a čas čekání tahače na parkingu. Doba jízdy se poté vypočte jako rozdíl celkového času simulace a součtu časů vykládání, času stráveného ve skladu a času čekání. Tyto časy jsou následně procentuálně

uvedeny v grafu vytížení přepravního prostředku. Graf vytížení tahače výchozího stavu je zobrazen na Obr.20.



Obr. 20: Vytížení tahače

2.1.4 VERIFIKACE A VALIDACE MODELU

Verifikační kontrolou modelu bylo dokázáno, že vytvořený model a jeho logika řízení odpovídá plánovanému předpokladu. Tedy, jestli jsou prvky a nastavení modelu reálné a provedené simulace budou vypovídající. Verifikace byla zhodnocena jako dostačující.

Pro validaci bude zjišťován čas příjezdu tahače a zásoba materiálu na pracovištích 1, 2 a 3 ve chvíli příjezdu tahače na pracoviště. Kvůli zpřehlednění a správnosti výpočtů byly vybrány pouze první 3 pracoviště, u kterých je možno jednoduše určit a změřit trasu tahače ze skladu na pracoviště.

Z tabulky parametrů byly pro tuto validaci nastaveny nebo vyvozeny následující zjednodušující předpoklady, které jsou zapsány v tabulce 3:

Tab. 3: Hodnoty pro výpočet zásoby materiálu

Název	Označení	Hodnota
Hladina odvolávky	–	5 ks
Takt spotřeby dílů na všech pracovištích	–	900 s
Rychlost tahače	–	6 m/s
Zahákování	t_{sklad}	15 s
Vyhákování	t_v	0 s
Výměna kontejneru na stanici	t_{cnt}	0 s
Počet odvolaných dílů	–	20 ks

Dle schématu cest byly naměřeny vzdálenosti jednotlivých pracovišť od parkingu a vypočten čas potřebný k dojetí tahače k pracovištím zobrazený v tab. 4.

Tab. 4: Časy jízdy soupravy

	Trasa [m]	Doba jízdy [s]	Označení doby jízdy
Pracoviště 1	451	75,17	t_{p1}
Pracoviště 2	859,912	143,32	t_{p2}
Pracoviště 3	1043,762	173,96	t_{p3}
Celá trasa	3462	577	t_{ct}

Jelikož je takt spotřeby 900 s, tahač od doby příchodu odvolávky dorazí k pracovištím 1, 2 a 3 v čase, kdy je počet kusů na stanicích 5, protože žádný z těchto časů nepřesáhl hodnotu 900 s. Abychom se přiblížili na hraniční hodnotu a zjistili tak, jestli model funguje správně a takt spotřeby je v průběhu simulace opravdu 900 s, tahač nejdříve po příchodu odvolávky objede celou trasu a teprve poté se vydá k jednotlivým pracovištím. Tím se přiblížíme k době taktu spotřeby.

Pokud tedy čas příjezdu tahače na pracoviště přesáhne hranici doby taktu spotřeby, počty kusů na těchto pracovištích se budou od hladiny odvolávky lišit.



Výpočet:

$$t_1 = t_{ct} + t_{sklad} + t_{p1} \quad (4)$$

$$t_2 = t_1 + t_{p1} + t_{sklad} + t_{p2} \quad (5)$$

$$t_3 = t_2 + t_{p2} + t_{sklad} + t_{p3} \quad (6)$$

kde:

t_1 [s] – čas přijetí soupravy k pracovišti 1;

t_2 [s] – čas přijetí soupravy k pracovišti 2;

t_3 [s] – čas přijetí soupravy k pracovišti 3;

t_{ct} [s] – čas projetí celé trasy;

t_{sklad} [s] – čas zahákování soupravy;

t_{p1} [s] – čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 1;

t_{p2} [s] – čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 2;

t_{p3} [s] – čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 3;

Výsledky simulačního modelu byly zaznamenány v tab.5, ve které jsou zaznamenány časy, kdy se mění stav modelu. Dále je zaznamenána zásoba dílů na stanicích (nulová, pokud se nejedná o pracoviště).

Tab. 5: Výsledky pro validaci ze simulačního modelu

t [s]	Stav	Zásoba [ks]	Stanice
0	AtPosition	0	Parking
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 1
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 2
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 3
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 4
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 5
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 6
17100	Odvolávka	5	Pracoviště 7
17100	Odjezd	0	Parking
17677,023	Příjezd	0	Sklad
17692,023	Odjezd	0	Sklad
17767,253	Entering	5	Pracoviště 1
17767,253	Go	25	Pracoviště 1
17850,152	Příjezd	0	Sklad
17865,152	Odjezd	0	Sklad
18008,562	Entering	4	Pracoviště 2
18008,562	Go	24	Pracoviště 2
18152,758	Příjezd	0	Sklad
18167,758	Odjezd	0	Sklad
18341,378	Entering	4	Pracoviště 3
18341,378	Go	24	Pracoviště 3

Dosazením do rovnic (4), (5) a (6) hodnotami, které jsou uvedeny v tab.3 a v tab.4, získáme časy příjezdu soupravy k pracovištím, které jsou zaznamenány v tab.6. Mimo jiné je v této tabulce uveden i počet dílů, který se podle vypočtených časů předpokládá na daných pracovištích. Čas příjezdu tahače na pracoviště je brán jako čas, který uběhl od doby příchodu odvolávky, nejedná se tedy o čas měřený od počátku simulace.

Tab. 6: Vypočtený čas příjezdu tahače na pracoviště a předpoklad zásob na pracovištích

	Vypočtený čas příjezdu [s]	Čas vycházející ze simulačního modelu [s]	Rozdíl časů [s]	Předpoklad kusů na pracovišti	Počet kusů z výsledků simulačního modelu
Pracoviště 1	667,167	667,253	0.086	5	5
Pracoviště 2	900,653	908,562	7.909	4	4
Pracoviště 3	1232,933	1241,378	8.445	4	4



Vypočtená doba dojezdu tahače na pracoviště 1, 2 a 3 je s přesností jednotek sekund podobná době vycházející ze simulačního modelu. Rozdíl mezi nimi je způsoben zaokrouhlovacími chybami při měření délky tras podle schématu cest. Taktéž nastává rozdíl délky trasy v případě, že tahač projíždí zatáčku její vnitřní nebo vnější stranou. Tato chyba se s rostoucí vzdáleností zvyšuje. Délka celé trasy byla zaokrouhlena na 3462 m. S ohledem na uvedené chyby teoretického výpočtu je maximální odchylka 8,5 s akceptovatelná.

Z výsledků pro validaci simulačního modelu (tab.5) lze ověřit několik hodnot najednou. Doba zahákování udává, kolik času tahač stráví ve skladu. Jelikož je čas vyhákování nastaven na 0 s, čas vytvoření soupravy byl zaznamenán jako rozdíl časů příjezdu do skladu a odjezdu z něj. Tato doba odpovídá parametrizované hodnotě 15 s.

Počet odvolaných dílů je nastaven na počet 20 ks. Lze jej ověřit tak, že odečteme hodnotu zásoby na pracovišti v čase, kdy tahač opouští pracoviště, a hodnotu zásoby při vjezdu tahače na pracoviště. Počet odvolaných dílů je shodný s počtem přivezených dílů. Na pracoviště bylo vždy dovezeno 20 dílů. Tento počet je shodný s předpokládaným počtem.

Porovnáním vypočtených nebo nastavených hodnot s výsledky pro validaci simulačního modelu bylo ověřeno, že simulační model funguje správně.

2.2 OPTIMALIZACE SIMULAČNÍHO MODELU

Optimalizační návrhy jsou roztríděny podle druhu parametrů, které byly v daném návrhu změněny vůči výchozímu stavu modelu. Jedná se o parametry, které nejsou deterministicky založené. Je tedy možná jejich změna. Tyto parametry jsou uvedeny v následujícím výčtu:

- Sekvence objíždění stanic;
- Počet tahačů;
- Hladina odvolávky;
- Start interval.



Úpravu parametrů pro jednotlivé simulační běhy definuje matice experimentů, která je zobrazena v tab.7. Výsledky simulace jednotlivých návrhů jsou následně porovnávány a jsou pomocí nich sledovány vlivy změněných parametrů. Zvýrazněná pole označují výsledná doporučená nastavení zkoumaného parametru.

Tab. 7: Matice návrhů

Měněné parametry	Sekvence objíždění stanic			Počet tahačů		Hladina odvolávky				
	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3	Návrh 4	Návrh 5	Návrh 6	Návrh 7	Návrh 8	Návrh 9	Návrh 10
Sekvence objíždění stanic	6	6	6							
	2	7	5							
	7	2	4							
	1	1	3							
	4	4	7							
	5	5	2							
	3	3	1							
Počet tahačů	1			2	3	1				2
Hladina odvolávky	5			5	6	6	6	6	5	
	5			6	7	8	9	5		
	5			5	5	5	5	5		
	5			6	6	6	6	5		
	5			5	5	5	5	5		
	5			6	7	8	9	6		
	5			6	7	7	8	5		

Při tvorbě návrhu 1 bylo přihlíženo k délce taktu spotřeby dílů na pracovištích. Pořadí bylo určeno vzestupně od pracoviště s nejkratším taktem. Jelikož dochází v tomto pořadí objíždění pracovišť ke křížení materiálového toku, bylo v návrhu 2 prohozeno pořadí pracovišť 2 a 7. Pozorováním simulačního modelu bylo vytvořeno pořadí stanic pro návrh 3, při kterém dochází k nejmenšímu křížení materiálového toku.

V návrzích 4–10 byla nastavena sekvence objíždění stanic podle návrhu 1.

Hladina odvolávky v návrzích 6–9 je vždy navýšena na pracovištích, kde došlo ke stavu nulových zásob. V návrhu 10 byly nastaveny 2 tahače a oproti návrhu 4 byla pouze navýšena hladina odvolávky na pracovišti 6 o 1 díl.

Vyhodnocení a porovnání jednotlivých variant je uvedeno v následujících kapitolách, které se nazývají podle názvu měněného parametru.



2.2.1 VYHODNOCENÍ OPTIMALIZAČNÍCH EXPERIMENTŮ

Hlavním kritériem pro výběr vhodné varianty parametrizace vytvořeného logistického okruhu je počet stavů nulových zásob dílů na pracovišti v průběhu simulace. Vždy je přihlíženo i k vytížení přepravního prostředku.

Vyhodnocení a porovnání skupin optimalizačních variant je uvedeno v následujících kapitolách, které jsou pojmenovány podle názvu měněného parametru.

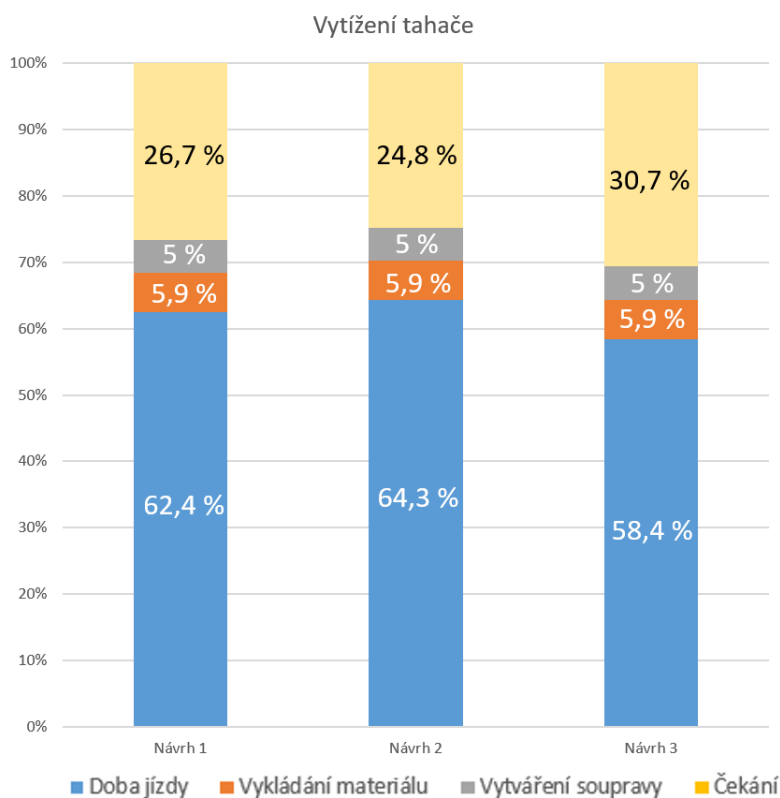
SEKVENCE OBJÍZDĚNÍ STANIC

Porovnání počtu stavů nulových zásob je zobrazeno v tab.8, ve které je pro přehlednost uvedena i situace výchozího stavu. K nejmenšímu počtu nulových zásob došlo v optimalizačním návrhu 1. Nastavení sekvence objíždění pracovišť podle délky jejich taktů se tedy jeví jako vhodné.

Tab. 8: Počet případů nulových zásob při změně sekvence objíždění

Pracoviště	Výchozí stav	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
1	1	0	0	0
2	9	12	14	16
3	0	0	0	0
4	2	1	1	1
5	1	0	1	0
6	32	20	22	25
7	12	4	6	9
Suma	57	37	44	51

Vytížení tahače je názorné z grafu na obr.21. Doba jízdy kolísá v rozmezí 5 %. Doba čekání je největší v návrhu 3. Ta je způsobena nevhodným pořadím objíždění stanic, kdy na základě příchodu většího množství odvolávek v tentýž čas tahač následně nestíhá doplnit zásoby na pracovištích do doby, než je spotřebován zbývající počet dílu na pracovišti.



Obr. 21: Vytížení tahače při změně sekvence objíždění pracovišť

ZMĚNA POČTU TAHAČŮ

Výsledky počtu stavů nulových zásob jsou uvedeny v tab.9. Při počtu 2 tahačů tato situace nastane pouze 2krát a pouze na pracovišti 6. Při počtu 3 tahačů ani jednou, avšak vytížení tahačů, která jsou zaznamenána v grafu přílohy 3, zejména pak u 3. tahače návrhu 5, rapidně klesne a doba čekání je více jak 85 % celkového času simulace.

Tab. 9: Počet případů nulových zásob při změně počtu tahačů

Pracoviště	Návrh 4	Návrh 5
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	2	0
7	0	0
Suma	2	0

ZMĚNA HLADINY ODVOLÁVKY

V tab.10 jsou zobrazeny počty stavů nulových zásob při změně hladiny odvolávky. V případě 1 tahače v modelu postupným navyšováním hladin odvolávky nastane stav, kdy na žádném pracovišti během doby simulace zásoby neklesnou na nulovou hladinu. Avšak hladina dílů při odvolání by na některých pracovištích byla vyšší jak 9 kusů a vzhledem ke kapacitě prostorů pracoviště zde může nastat problém. Ke stavu nulových zásob na pracovišti dojde např. v návrhu 9 během 10 dnů celkem 5krát. Ve většině případů je počet dílů v návrhu 9 na pracovištích v době příjezdu tahače 5 nebo více kusů. Z těchto důvodů je počet 2 tahačů a nastavení hladiny odvolávky na pracovišti 6 na 6 dílů správné a lepší řešení než zvyšování hladin odvolávky o více jak 4–5 kusů.

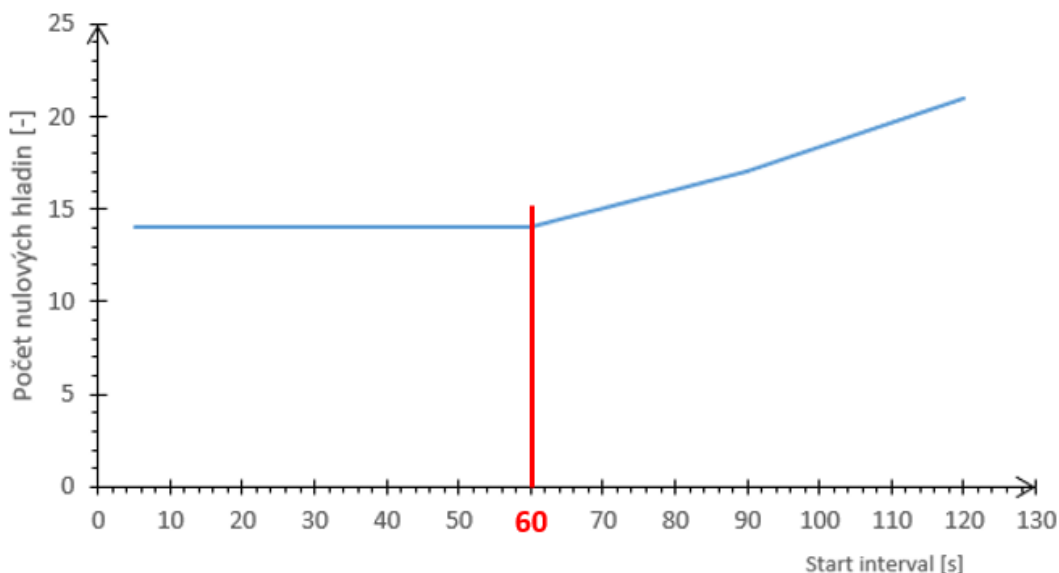
Tab. 10: Počet případů nulových zásob při změně hladiny odvolávky

Pracoviště	Návrh 7	Návrh 8	Návrh 9	Návrh 10
1	0	0	0	0
2	4	2	1	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	9	5	2	0
7	1	1	2	0
Suma	17	8	5	0

Vytížení přepravních prostředků při optimalizačních návrzích č. 6–10 je zaznamenáno v grafech přílohy 4. V návrzích s 1 tahačem se vytížení tahače nemění. Při stavu 2 tahačů v návrhu 10 je procento čekání více jak 50 %. To však nastává z důvodu, kdy na základě příchodu většího množství odvolávek v tentýž čas tahač následně nestíhá doplnit zásoby na pracovištích do doby, než dojde ke spotřebě zbývajících dílů na pracovišti. Tento stav je však zapříčiněn deterministicky. Tahač 1 není tento stav schopen pokrýt, a proto je spolehlivější situace, kdy jsou k dispozici v okruhu 2 tahače.

ZMĚNA HODNOTY PARAMETRU „START INTERVAL“

Provedením simulačních experimentů bylo zjištěno, že hodnota startovního intervalu na tomto simulačním modelu je optimální při nastavení parametru na hodnotu 60 s, viz graf na Obr.24, ve kterém je optimalizovaná hodnota graficky znázorněna. Při nižších hodnotách se již výsledky experimentů neliší, při vyšších naopak situace, kdy dochází k poklesu zásob na nulu, mírně narůstají. Změna hodnoty „Start Interval“ nepůsobí změnu v procentuálních hladinách vytížení dopravního prostředku, proto nemá vliv ani v situaci, kdy byly v simulačním modelu nastaveny 2 tahače. Ty jsou navíc vždy schopny pokrýt všechny odvolávky z pracovišť tak, aby nedocházelo ke stavu nulových zásob na pracovišti. Ve výše zmíněných případech uvažujeme vždy změnu intervalu v rozsahu 5–120 s. Vyšší hodnoty intervalu by byly pro simulaci irelevantní, protože cílem je počet stavů nulových zásob snižovat ne ho zvyšovat.



Obr. 22: Graf – změna hodnoty „Start Interval“

2.3 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE

Pomocí simulačních experimentů byl z každé kategorie optimalizačních návrhů podle změny jednoho z parametrů vybrán návrh s nejnižším počtem stavů nulové zásoby. Tyto návrhy jsou společně s výchozím stavem modelu porovnány v tab.11. Pomocí změny parametru „Start Interval“ byla pouze optimalizována jeho hodnota pro nastavení simulačního modelu s 1 tahačem. Při počtu 2 tahačů zkoumaná změna intervalu neměla vliv na počet stavů s nulovou zásobou.

Tab. 11: Porovnání výsledných variant s výchozím stavem

Měněné parametry	Výchozí stav	Návrh 1	Návrh 4	Návrh 10
Sekvence objíždění stanic	1		6	
	2		2	
	3		7	
	4		1	
	5		4	
	6		5	
	7		3	
Počet tahačů	1	2		
Hladina odvolávky		5		5
		5		5
		5		5
		5		5
		5		5
		5		6
	5		5	

Výsledné doporučené nastavení parametrů modelu je v tab.11 zvýrazněno šedým polem. Šedé pole taktéž znázorňuje vlastní průběh optimalizace, jelikož pro simulační běhy následující skupiny byl vždy vybrán návrh s nejnižšími stavy nulových zásob z předchozí optimalizační skupiny. Touto metodou byl postupně nalezen návrh 10, u kterého ke stavu nulových zásob na pracovišti vůbec nedochází.

Pro provoz zkoumaného logistického okruhu bych tedy doporučil návrh č.10 se 2 tahači a sekvencí objíždění pracovišť podle délky jejich taktu vzestupně od pracoviště s nejkratší délkou taktu. Hladina odvolávky na pracovištích je rovna počtu 5 dílů, kromě pracoviště č.6, kde je hladina nastavena na počet 6 dílů. Parametr „Start Interval“ je nastaven na optimalizovanou dobu 60 s. Vytížení tahačů výsledné doporučené varianty je zřetelné z grafy přílohy 4.



ZÁVĚR

V první části práce byly shrnuty základní logistické pojmy, které se týkají řízení zásob a následného vytvoření simulačního modelu. Zejména byl proveden rešeršní rozbor logistických konceptů řízení zásob používaných ve strojírenském a automobilovém průmyslu. Dále byly uvedeny možnosti využití počítačových simulací a byl představen software Plant Simulation, pomocí kterého je možné vytvářet simulační modely.

Pokud seřadíme jednotlivé koncepty řízení zásob podle doby jejich vzniku, zjistíme, že rozdíly mezi nimi lze vnímat jako možnosti optimalizace z nich staršího konceptu. Jejich principy se mnohdy prolínají a samotné koncepty mají mnoho svých variant. Jelikož dnes existují možnosti simulace logistických operací, je jednodušší zpracovat logistický systém přímo na míru podle požadavků podniku. Při vybírání vhodných simulačních variant pro implementaci do reálného systému je brán zřetel na vícero aspektů. Může to být finanční náročnost realizace systému nebo aktuální požadavky trhu.

Druhá část byla zaměřena na simulační model zavázečního okruhu, který je řízen na principu logistického konceptu Kanban. Byla představena tvorba modelu, jeho parametrizace a byla vysvětlena logika jeho řízení. Následně byla uvedena optimalizace celého modelu a vypsány jednotlivé optimalizační návrhy, z nichž byla vybrána optimalizovaná varianta nastavení parametrů modelu, která je doporučena jako vhodná pro provoz zkoumaného logistického okruhu jako reálného systému.

Hlavní pozornost byla věnována vytvoření simulačního modelu v programu Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Z výsledné doporučené varianty je zřejmé, že okruh budou zavážet 2 tahače a hladina odvolávek zůstane, až na 1 pracoviště, na stejné úrovni vzhledem k výchozímu stavu. Odpadá tedy nutnost úpravy pracovišť, která může nastat v případě zvýšení hladin odvolávek z důvodu nedostatku místa na pracovištích. Aby nedocházelo k zastavení montážní linky, na pracovištích by se musel nacházet větší počet dílů, které by v případě potřeby plnily funkci pojistné zásoby. Jestli se podniku z pohledu nákladů vyplatí koupě dalšího tahače nebo úprava pracovišť, zůstává otázkou. Tato a další otázky by mohly být předmětem další studie, ve které bych rád pokračoval a navázal tak na problematiku logistických konceptů řízení zásob a jejich simulace.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Brno: CP Books, 2005, 315 s. : il. ; 24 cm. ISBN 80-251-0573-3.
- [2] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: (supply chain management). Díl 3*. Praha: Radix, 2005, s. 1096-1698. ISBN 80-86031-59-4.
- [3] HLOSKA, J. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 144 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc..
- [4] VARJAN, Matúš. *Simulační verifikace komplexního technologického projektu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 187 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.
- [5] SEDLÁČEK, Martin. *Projektování logistických řetězců pomocí počítačové simulace*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.
- [6] BOŽEK, RYBANSKÝ a VIDOVÁ. *Výrobní logistika*. Bratislava: STU Bratislava, 2006. ISBN 80-227-2463-7.
- [7] SVITÁLEK, Petr. *Řízení materiálového toku*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. Vedoucí práce Zdeněk Čujan.
- [8] ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-2885-6. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky, 2004. 114 s. Vedoucí práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.
- [9] HORÁKOVÁ, Helena a Jiří KUBÁT. *Řízení zásob: Logistické pojetí, metody, aplikace, praktické úlohy*. 3. přepr. vyd. Praha: Profess Consulting, 1998, 236 s. ISBN 80-85235-55-2.
- [10] PERNICA, Petr. *Logistika: Vymezení a teoretické základy*. Praha: VŠE, 1994, 210 s. ISBN 80-7079-820-3.
- [11] ŽIVĚLOVÁ, Iva. *Finanční řízení podniku II*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. ISBN 80-7157-369-8.

- [12] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: (supply chain management). Díl 2.* Praha: Radix, 2005, s. 1096-1698. ISBN 80-86031-59-4.
- [13] EMMETT, Stuart. *Řízení zásob: jak minimalizovat náklady a maximalizovat hodnotu.* Brno: Computer Press, 2008, vi, 298 s. : il. ISBN 978-80-251-1828-3.
- [14] Analýza skladových zásob: ABC, XYZ analýza. *Lean Fab* [online]. 2012 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.lean-fabrika.cz/terminologie/analiza-skladovych-zasob#.WqA2YujOXIU>
- [15] Obrázek 4: Matice ABC/XYZ. In: *CIE-Group: Průmyslové inženýrství, vzdělávání, lidské zdroje* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi/metody/xyz/>
- [16] FUKSA, Radim. Kanbanový systém ve společnosti TPCA Czech. In: *Centrum pro výzkum informačních systémů* [online]. Zlín: CVIS, 2005 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://cvis.cz/hlavni.php?stranka=novinky/clanek.php&id=218>
- [17] LEGÁT, Václav, Vladimír JURČA a Josef VÁŇA. *Servisní logistika.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2005. ISBN 80-213-1302-1.
- [18] KUČERÁK, Dušan. IPA slovník: Kanban. In: *IPA Czech* [online]. Český Těšín, 2012, 22.1.2007 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/kanban>
- [19] SIXTA, Josef a Miroslav ŽÍŽKA. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů.* Brno: Computer Press, 2009, 238 s. : grafy, tab. ISBN 978-80-251-2563-2.
- [20] Just in Time & Just in Sequence. In: *Lexikon metod průmyslové inženýrství* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi/metody/jit/>
- [21] MÁČALA, S. *Ověření dosažení požadované sekvence výrobků při průchodu oblastí lakovny pomocí simulačního modelu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [22] Sankeyův diagram. In: *Lexikon metod průmyslového inženýrství* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi/metody/sankeyuv-diagram/>
- [23] BANKS .., Jerry.. *Discrete-event system simulation. 5th ed., International version.* Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-8150-372.



- [24] HAMILTON, John A., David A. NASH a Udo W. POOCH. *Distributed simulation*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c1997. ISBN 0-8493-2590-0.
- [25] HLOSKA, Jiří a Miroslav ŠKOPÁN. *Plánování a řízení provozu pivovaru s podporou počítačové simulace*. Kvasný průmysl [online]. 2014, 2014(60), 5 str. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2014/06/01.pdf>
- [26] Setkání uživatelů knihoven VDA Automotive Bausteinkasten pro simulační software Plant Simulation. *Automa: Časopis pro automatizační techniku*. Praha: Akontext, 2016, 22(5), 35. ISSN 1210-9592.
- [27] KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAIN. Modelování v dopravě/průběh simulační studie. In: *V.Křivda; V.Škvain - Městské komunikace a křižovatky* [online]. Ostrava, 2013, 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/modelovani-10.htm>
- [28] HFM Combi-link Containerchassis. In: *Transport-online* [online]. 2014 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.transport-online.nl/site/45587/hfm-combi-link-containerchassis/>
- [29] Studentische arbeiten. In: *Institut für Systemdynamik* [online]. Universität Stuttgart, 2017 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: http://www.isys.uni-stuttgart.de/lehre/arbeiten/Neigungsschaetzung_eines_Fahrzeugs_mithilfe_von_Beschleunigungs-_und_Drehratensensoren/?__locale=de
- [30] Palety s díly vozí mezi výjezdem z dopravníkového mostu a supermarketem logistické vláčky. In: *Logistika.ihned.cz: Doprava, skladování, distribuce, balení* [online]. Praha: Economia, 2018, 19.2.2016 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65169600-plan-y-logistickeho-supermarketu-skody-auto>
- [31] Plně automaticky řízené přepravní vozíky ve skladu. In: *Hybrid.cz: Elektromobily, elektrokola, elektroskútry, auta na plyn CNG, LPG, testy* [online]. Chamanne, 2017, 25.listopad 2013 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-auto-vyuziva-setrnejsi-logistiku>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SW	[-]	Software
t_1	[s]	čas přijetí soupravy k pracovišti 1
t_2	[s]	čas přijetí soupravy k pracovišti 2
t_3	[s]	čas přijetí soupravy k pracovišti 3
t_{ct}	[s]	čas projetí celé trasy
t_L	[s]	čas odjezdu soupravy ze skladu
t_{sklad}	[s]	čas zahákování soupravy
t_{p1}	[s]	čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 1
t_{p2}	[s]	čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 2
t_{p3}	[s]	čas projetí vzdálenosti od skladu k pracovišti 3
VDA	[-]	Sdružení inženýrů automobilového průmyslu (z německého „ <i>Verband der Automobilindustrie</i> “)

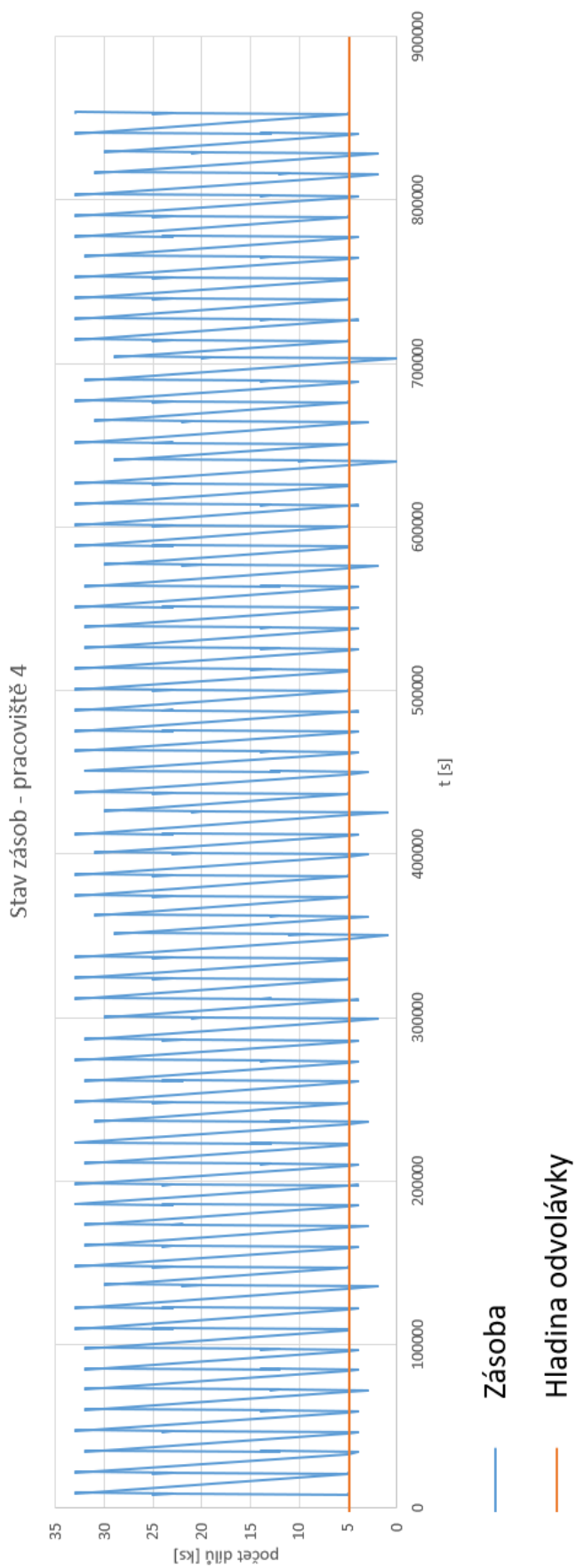


SEZNAM PŘÍLOH

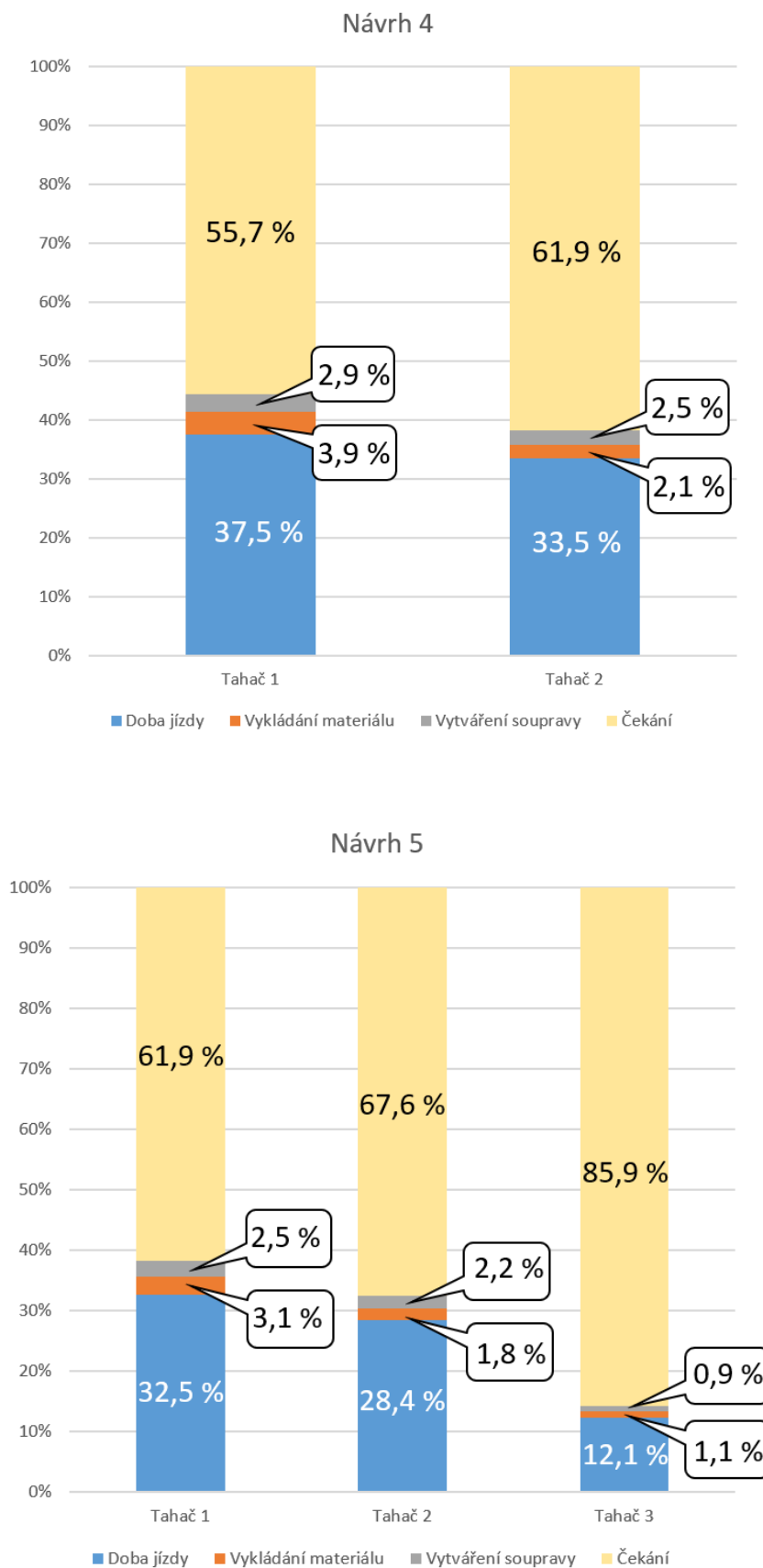
Příloha 1: Původní stav simulačního modelu	I
Příloha 2: Stav zásob na pracovišti 4.....	II
Příloha 3: Vytížení tahačů při změně počtu tahačů	III
Příloha 4: Vytížení tahačů při změně hladiny odvolávky	IV



Příloha 2: Stav zásob na pracovišti 4



Příloha 3: Vytížení tahačů při změně počtu tahačů



Příloha 4: Vytížení tahačů při změně hladiny odvolávky

